

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Evaluación estructural y funcional para la determinación del nivel de
intervención del pavimento rígido del jirón Porvenir del distrito de
Huancaray**

Asesor:

Mg. Lagos Carbajal, Wilmer Antony

Autores:

Quispe Tello, Fany

Maylle Andia, Jonatan Joel

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Andahuaylas - Apurímac – Perú

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 001

En la ciudad de Andahuaylas, a los 16 días del mes de enero del 2026, siendo las 09:00am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 001-2026-UTEA-FI-EPIC/SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Céspedes Reynaga Hirbin Félix
Dictaminante :	Mg. Ortiz Aucapiña Renzo Boris
Replicante :	Mg. Laura de la Cruz Candelario

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación estructural y funcional para la determinación del nivel de intervención del pavimento rígido del Jirón Porvenir del distrito de Huancaray

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Quispe Tello, Fany
(Apellidos y Nombres)

Br.: Maylle Andia, Jonatan Joel
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Mayoría
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Quispe Tello, Fany	Aprobado
Br. Maylle Andia, Jonatan Joel	Aprobado

Siendo las 12:05 pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Céspedes Reynaga Hirbin Félix
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante: Mg. Ortiz Aucapiña Renzo Boris
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Replicante: Mg. Laura de la Cruz Candelario
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

(*): Mayoría: Dos integrantes del Jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



Evaluación estructural y funcional para la determinación del nivel de intervención del pavimento rígido del jirón Porvenir del distrito de Huancaray

ÍNDICE DE ORIGINALIDAD

19%	19%	3%	10%
ÍNDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	doaj.org Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	conferencias.saludcyt.ar Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.unajma.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%

www.repositorio.unu.edu.pe

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y Nombres	:	Quispe Tello, Fany
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	47259761
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0004-9940-7288
Datos del Autor		
Apellidos y Nombres	:	Maylle Andia, Jonatan Joel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	71030043
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0006-7607-3304
Datos del Asesor		
Apellidos y Nombres	:	Mag. Lagos Carbajal Wilmer Antony
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	70669811
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-5804-2826
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Del 2023 al 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	19% con deposito
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mi padre Florencio, que desde el firmamento me orientó para alcanzar y vencer todas las dificultades en la travesía.

A mi madre Julia, mi hermana, mis hermanos, a mi hijo Haru y mis sobrinos, por ser el cimiento esencial de mi existencia, por las muestras de tenacidad, constancia y valor humano.

A toda mi familia, profesores y amistades que me proporcionaron su respaldo sin reservas en esta fase.

A mi padre Prospero Manuel Maylle Reyes y mi madre Luz Maribel Andia Toledo, porque son los pilares principales en formar mi educación y cumplir con la meta esperada de terminar los estudios superiores,

A mi hermana por apoyarme en los momentos necesitados con sus consejos, oraciones y sobre todo con todas las ganas de salir adelante.

A toda mi familia, Docentes y amigos quienes me guiaron, apoyaron incondicional en esta etapa de mi vida.

Agradecimiento

A Dios por su orientación a lo largo de mi trayectoria, por ser mi pilar en los instantes de vulnerabilidad y proporcionarme una vida repleta de beneficios.

A mis profesores de la UTEA, por su compromiso en la enseñanza de los conocimientos en el salón de clases.

Al Ing. Wilmer Antony Lagos Carbajal, orientador de la tesis, por su orientación y paciencia durante el desarrollo de la pesquisa.

Agradezco en primera instancia a DIOS, quien por su misericordia tengo un día más de vida, salud y voluntad para lograr mis objetivos.

Agradezco la voluntad y apoyo incondicional de mis padres quienes son los actores principales para cumplir la meta deseada y esperada.

Agradezco a los docentes quienes formaron mi educación superior por 5 años y mi asesor de tesis al Ing. Wilmer Antony Lagos Carbajal, por su guía y paciencia durante todo el proceso de la investigación científica.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la evaluación estructural y funcional para la determinación del nivel de intervención del pavimento rígido del Jirón Porvenir del distrito de Huancaray. Se desarrolló con un enfoque cuantitativo, tipo aplicado, con alcance descriptivo, diseño experimental y corte transversal. La muestra lo conformó el jr. Porvenir del Distrito de Huancaray, empleándose la técnica de observación y como instrumento la hoja de registro de daños. Los resultados indicaron un valor promedio del PCI de 33.43, clasificando el pavimento en estado malo, con tramos en estado malo y muy malo. La medición de deflexiones mediante la Viga Benkelman evidenció que las progresivas 0+000, 0+080, 0+160, 0+240 y 0+320 presentaron deformaciones superiores a los límites admisibles, indicando deterioro estructural en dichos tramos. Se concluye que la condición general del pavimento es deteriorada lo que indica una pérdida considerable en la resistencia estructural, con sectores que requieren atención prioritaria. Se recomienda ejecutar mantenimiento correctivo y preventivo diferenciado, incluyendo reparaciones localizadas, refuerzo o sustitución total de los tramos. Todo ello con el fin de prolongar la vida útil de la vía y evitar que el deterioro evolucione hacia un estado crítico que comprometa su desempeño funcional y estructural.

Palabras clave: Pavimento rígido, Índice de condición del pavimento, viga Benkelman, deflexiones.

Abstract

This research aimed to determine the structural and functional evaluation of the rigid pavement on Jirón Porvenir in the district of Huancaray, in order to assess the level of intervention required. It was conducted using a quantitative, applied, descriptive, experimental, and cross-sectional approach. The study population consisted of the streets of the district of Huancaray, comprising eight sections. Data was collected using observation and a damage assessment sheet. The results indicated an average PCI (Pavement Impact Index) of 33.43, classifying the pavement as being in poor condition, with some sections in poor and others in very poor condition. Deflection measurements using the Benkelman Beam revealed that the sections at kilometer markers 0+000, 0+080, 0+160, 0+240, and 0+320 exhibited deformations exceeding permissible limits, indicating structural deterioration. The study concludes that the overall condition of the pavement is deteriorated, indicating a considerable loss of structural strength, with some sections requiring priority attention. It is recommended to implement differentiated corrective and preventive maintenance, including localized repairs, reinforcement, or complete replacement of sections. All of this is aimed at extending the service life of the track and preventing deterioration from progressing to a critical state that compromises its functional and structural performance.

Keywords: Rigid pavement, Pavement Condition Index, Benkelman beam, deflections.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice general.....	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos	xv
I. Introducción.....	16
II. Planteamiento del problema.....	17
2.1 Descripción y formulación del problema.....	17
2.2 Objetivos	20
2.2.1 Objetivo general.....	20
2.2.2 Objetivos específicos	20
2.3 Justificación e importancia	21
2.4 Variables	22
III. Marco teórico.....	25
3.1 Antecedentes	25
3.2 Bases teóricas.....	31
3.3 Definición de términos.....	49

IV. Metodología	53
4.1 Tipo y nivel de investigación.....	53
4.2 Ámbito temporal y espacial	54
4.3 Población y muestra.....	54
4.4 Instrumentos	55
4.5 Procedimientos	56
4.6 Análisis de datos	57
4.7 Consideraciones éticas	58
V. Resultados y discusión	60
VI. Conclusiones	114
VII. Recomendación	116
VIII. Referencias.....	117
IX. Anexos	123

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de decisión de PCI.....	18
Tabla 2 Intervención de mantenimiento basada en PCI	19
Tabla 3 Rangos de calificación del PCI.	33
Tabla 4 Factores de corrección por estacionalidad.....	48
Tabla 5 Resumen de los tipos de deflexión y sus acciones recomendadas.....	49
Tabla 6 Tipos de fallas en superficie de concreto	60
Tabla 7 Resumen de tramos y progresivas.	61
Tabla 8 Hoja de registro de la unidad de tramo 1 de la progresiva 0+000 – 0+040	62
Tabla 9 Cálculo del PCI de la unidad de tramo 1.....	65
Tabla 10 Hoja de registro de la unidad de tramo 2 de la progresiva 0+040 – 0+080	66
Tabla 11 Cálculo del PCI de la unidad de tramo 2.....	69
Tabla 12 Hoja de registro de la unidad de tramo 3 de la progresiva 0+080 – 0+120	70
Tabla 13 Cálculo del PCI de la unidad de tramo 3.....	73
Tabla 14 Hoja de registro de la unidad de tramo 4 de la progresiva 0+120 – 0+160	75
Tabla 15 Cálculo del PCI de la unidad de tramo 4.....	78
Tabla 16 Hoja de registro de la unidad de tramo 5 de la progresiva 0+160 – 0+200	79
Tabla 17 Cálculo del PCI de la unidad de tramo 5.....	82
Tabla 18 Hoja de registro de la unidad de tramo 6 de la progresiva 0+200 – 0+240	84
Tabla 19 Cálculo del PCI de la unidad de tramo 6.....	86
Tabla 20 Hoja de registro de la unidad de tramo 7 de la progresiva 0+240 – 0+280	88
Tabla 21 Cálculo del PCI de la unidad de tramo 7.....	90
Tabla 22 Hoja de registro de la unidad de tramo 8 de la progresiva 0+280 – 0+320	91
Tabla 23 Cálculo del PCI de la unidad de tramo 8.....	94
Tabla 24 Resumen del promedio de valores PCI de la vía evaluada.....	96
Tabla 25 Resumen de los tipos de fallas en las diferentes unidades de tramo	98
Tabla 26 Severidad de fallas en las diferentes unidades de tramo	100

Tabla 27 Datos recopilados en la libreta de campo de los diferentes tramos.....	101
Tabla 28 Cálculo de matriz de deflexiones	103
Tabla 29 Matriz de corrección por temperatura normada	104
Tabla 30 Matriz de corrección por estacionalidad normada	105

Índice de figuras

Figura 1 Esquema ideal del comportamiento del cuenco de deflexiones	36
Figura 2 Empleo de la viga de Benkelman para la medición de deflexiones	37
Figura 3 Vehículo de carga que somete una carga al suelo	39
Figura 4 Tipos de deflexiones	40
Figura 5 Deflexión en pavimentos	41
Figura 6 Esquema de la viga de Benkelman	42
Figura 7 Principio de funcionamiento de la viga de Benkelman.....	42
Figura 8 Sistema de carga de ensayos con Viga de Benkelman	44
Figura 9 Esquemmatización del proceso de medición con la Viga Benkelman	46
Figura 10 Fallas que presentan en el tramo 1 de la progresiva 0+000 – 0+040	63
Figura 11 Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 1	64
Figura 12 Fallas que presentan en el tramo 2 de la progresiva 0+040 – 0+080	67
Figura 13 Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 2	68
Figura 14 Investigadores en la progresiva 0+080 – 0+120.....	71
Figura 15 Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 3	72
Figura 16 Imagen en el tramo 4 correspondiente a la progresiva 0+120 – 0+160	76
Figura 17 Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 4	77
Figura 18 Deterioro del pavimento en el tramo 5 en la prog. 0+160 – 0+200.	80
Figura 19 Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 5	81
Figura 20 Fallas en la a la progresiva 0+200 – 0+240.....	84
Figura 21 Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 6	85
Figura 22 Deterioro de la vía en la progresiva 0+240 – 0+280.....	88
Figura 23 Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 7	89
Figura 24 Fallas en la progresiva 0+280 – 0+320	92
Figura 25 Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 8	93
Figura 26 Histograma agrupado por tipo de falla de los 8 tramos evaluados.	95

Figura 27 Lectura de datos en campo con la Viga Benkelman.....	102
Figura 28 Curvas representativas de las muestras evaluadas	106

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	122
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables.....	124
Anexo 3. Instrumento de recolección de información.....	126
Anexo 4. Plano en planta del jirón Porvenir del distrito de Huancaray.....	128
Anexo 5. Panel fotográfico.....	129

I. Introducción

El estado de conservación de las vías constituye un factor esencial en la infraestructura urbana y rural, pues incide directamente en la seguridad vial, la movilidad de los usuarios y el desarrollo económico regional. El pavimento rígido, ampliamente empleado por su durabilidad y resistencia, no está exento de presentar patologías que afectan su rendimiento con el paso del tiempo. En este sentido, evaluar su condición resulta indispensable para planificar acciones de mantenimiento y rehabilitación que prolonguen su vida útil y aseguren un tránsito seguro y eficiente. El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) se ha consolidado como una herramienta estándar a nivel mundial en la evaluación de pavimentos. Su aplicación permite identificar, clasificar y cuantificar fallas superficiales, asignando un valor numérico que refleja el estado general del pavimento.

La presente investigación se estructura en ocho capítulos. El Capítulo I introduce el estudio de manera general; el Capítulo II expone el planteamiento del problema, evidenciando los deterioros del pavimento en el Jirón Porvenir y estableciendo los objetivos e importancia de la investigación. El Capítulo III desarrolla el marco teórico, que sustenta los conceptos fundamentales sobre el comportamiento del pavimento rígido, los métodos de evaluación estructural (como la deflectometría) y funcional (como el PCI), además de las normas técnicas aplicables. En el Capítulo IV se describe la metodología, abordando el enfoque de investigación, el tipo de estudio, las técnicas de recolección de datos y los procedimientos empleados para evaluar la condición del pavimento. El Capítulo V presenta y analiza los resultados obtenidos, mientras que el Capítulo VI expone las conclusiones respecto al nivel de intervención requerido en cada tramo. Posteriormente, el Capítulo VII formula recomendaciones prácticas dirigidas a las autoridades y responsables de la infraestructura vial, orientadas a optimizar la gestión y el mantenimiento futuro. Finalmente, el Capítulo VIII reúne las referencias bibliográficas que respaldan el desarrollo de la investigación.

II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

El deterioro de carreteras se centra en la limitada vida útil y las condiciones funcionales y estructurales que presentan, las cuales se evalúan mediante métodos como el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y la viga Benkelman (BB). Estos métodos permiten identificar fallas prematuras y la necesidad de reparaciones oportunas. El PCI analiza el desempeño funcional considerando rugosidad, deformaciones y resistencia al deslizamiento, mientras que la BB mide deflexiones para evaluar la integridad estructural. Los estudios muestran que la mayoría de los tramos presentan vida útil residual menor a un año, evidenciando deterioro severo por sobrecarga vehicular, mala subrasante y materiales deficientes, lo que resalta la urgencia de mantenimiento continuo y rehabilitación estructural. (Handayani et al., 2023)

A nivel internacional, existen muchas carreteras que se encuentran en mal estado por diversos motivos como la falta de presupuesto, un mal mantenimiento preventivo o incluso la mala calidad en la construcción de estas. La Federal Highway Administration (FHWA) ha señalado que un pavimento deteriorado no solo afecta la vida útil de la infraestructura, sino que también incrementa los costos operativos de los vehículos y reduce la seguridad vial (Gandía, 2022). Las carreteras en mal estado de conservación ocasionan que los vehículos consuman más combustible al circular por ellas y que las emisiones asociadas que se generan incrementen. Del mismo modo, existen diversos impactos derivados del estado de conservación de las carreteras, como la seguridad de la circulación, ya que una carretera en buen estado proporciona mayor comodidad para sus usuarios. En el caso de los usuarios vulnerables, como ciclistas y motociclistas, el estado del pavimento es fundamental en su seguridad, puesto que se pueden producir accidentes con consecuencias muy graves debido a la presencia de baches y agrietamientos, así como desgaste de los neumáticos y daños en los vehículos. (Peña y Díaz, 2020)

La Asociación de Buenas Carreteras de Ontario divide el rango de valores de PCI en una matriz de decisión de PCI que permite analizar la vida útil restante de la carretera, clasificando el tiempo de reparación de cada valor de PCI para cada tramo. La Tabla 1 describe el tiempo de mejora para carreteras de peaje, arteriales, colectoras y locales según el valor de PCI de estas.

Tabla 1

Matriz de decisión de PCI.

Tiempo de mejora dentro de:	Autopista	Arterial	Colectora	Vida útil
Adecuado	>85	>85	>80	11–20 años
6–10 años	76–85	76–85	71–80	6–10 años
1–5 años	66–75	56–75	51–70	1–5 años
Rehabilitar ahora	60–65	50–55	45–50	0.5–0.9 años
Reconstruir ahora	<60	<50	<45	0–0.4 años

Nota. Extraído de Handayani et al. (2023)

En el contexto nacional, muchas zonas rurales se encuentran aisladas debido al mal estado de sus vías, existe una brecha de infraestructura vial en muchos departamentos que no se han cerrado desde hace varias décadas (Jiménez, 2002). En esa misma línea la PNP señala que una de las principales causas registradas de los siniestros de tránsito es el factor de infraestructura que involucran la vía en mal estado y una señalización defectuosa, la infraestructura vial muchas veces no cumple con los estándares actuales la vía en sí misma, y todos sus soportes que conforman la estructura de las carreteras y caminos, estos parámetros se incluyen dentro del Sistema Nacional de carreteras ya sean de carácter agrario o de ciudad de dominio y uso público, las carreteras defectuosas causan problemas físicos a los vehículos que los transitan así como incrementan el consumo de combustible y en consecuencia una mayor generación de gases contaminantes. (MTC, 2023)

La tabla 2 muestra los diferentes niveles de intervención conforme al índice de condición de pavimento y respectiva calificación obtenida:

Tabla 2*Intervención de mantenimiento basada en PCI*

PCI (Índice de Condición del Pavimento)	Calificación	Tipo de Mantenimiento
80–100	Muy Bueno	Preventivo
60–80	Bueno	Reasfaltado
40–60	Regular	Recubrimiento
20–40	Malo	Fortalecimiento
<20	Muy Malo	Rehabilitación

Nota. Extraído de Handbook of Highway Engineers (2001)

La actual vía jr. Porvenir del distrito de Huancaray en la provincia de Andahuaylas se encuentra en condiciones defectuosas lo que no permite un tránsito vehicular rápido, todo ello de acuerdo a la visita y análisis realizado in situ también se evidenció que no desempeña con las propiedades técnicas de acuerdo a las Normas Peruanas de Diseño de Caminos DG-2013, este problema causa un perjuicio en el desarrollo económico local, dificulta el acceso a salud y educación de los pobladores de la zona, la mayor parte se dedican a la agricultura y tienen la necesidad de transportar sus productos a mercados más grandes como Andahuaylas; sin embargo, hay una ausencia de fluido de tránsito vehicular por la falta de mantenimiento de las mismas, finalmente los costos de producción son incrementados y se reducen los márgenes de utilidad generando pérdidas a los agricultores. Las fallas que presenta la vía jr. Porvenir es la existencia de losa dividida, grietas, parche grande, pulimentos de agregados y descascaramientos, estas fallas son las que ocasionan el bajo fluido vehicular, siendo así que los automóviles de los pobladores sufren daños físicos, hasta ocasionando accidentes con frecuencia. Los daños que presenta el pavimento son provocados por factores climatológicos y exceso de carga de los vehículos, tal así que, en expediente de la vía, se ha observado que la estructura solamente está diseñada para ciertas cantidades de vehículos y tonelajes.

2.1.1 Problema General

¿Cuál es la evaluación estructural funcional para la determinación del nivel de intervención del pavimento rígido del jirón Porvenir del distrito de Huancaray?

2.1.2 Problemas Específicos

- ¿Cuáles son tipos de fallas existentes a través del método Índice de Condición del Pavimento en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray?
- ¿Cuál es la severidad de las fallas encontradas en la superficie a través del método Índice de Condición del Pavimento en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray?
- ¿Cuál es el estado del pavimento a través de la medición de deflexiones con el método de la Viga Benkelman en tramos donde se encuentra en nivel de base en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

- Analizar la evaluación estructural y funcional para la determinación del nivel de intervención del pavimento rígido del jirón Porvenir del distrito de Huancaray

2.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los tipos de fallas existentes a través del método Índice de Condición del Pavimento en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray, para identificar y clasificar las diferentes fallas que afectan el pavimento, como grietas, baches o deformaciones.
- Determinar la severidad de las fallas encontradas en la superficie a través del método Índice de Condición del Pavimento en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray, para evaluar el grado de deterioro de cada falla identificada.
- Determinar el estado del pavimento a través de la medición de deflexiones con el método de la Viga Benkelman en tramos donde se encuentra en nivel de base en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray, para evaluar la resistencia de la base

del pavimento ante cargas vehiculares, midiendo su capacidad de soportar el tráfico sin deformarse excesivamente.

2.3 Justificación e importancia

La justificación metodológica en la investigación se justifica debido a que permite evaluar de manera objetiva, sistemática y confiable el estado estructural y funcional del pavimento en el jr. Porvenir del distrito de Huancaray, asegurando que los resultados obtenidos sean representativos y técnicamente válidos para la toma de decisiones sobre el nivel de intervención requerido.

La justificación técnica se justifica debido a la necesidad de conocer el estado estructural y funcional real de la vía jr. Porvenir, se sustenta en el cumplimiento de las normas y especificaciones técnicas vigentes del MTC, las cuales establecen límites admisibles de deflexión, criterios de evaluación y metodologías de diseño y rehabilitación. Permitiendo optimizar los recursos, seleccionando el tipo de intervención más apropiado (mantenimiento rutinario, periódico, refuerzo o reconstrucción), prolongando la vida útil del pavimento y garantizando un desempeño adecuado durante su periodo de servicio.

La justificación tecnológica del presente estudio se fundamenta en el uso de herramientas, equipos y procedimientos tecnológicos apropiados y validados, que permiten obtener información precisa, confiable y oportuna sobre el comportamiento estructural y funcional del pavimento. Con la incorporación de recursos tecnológicos adecuados contribuye a la optimización del tiempo y los costos del estudio, mejora la eficiencia en la toma de decisiones.

La justificación social la presente investigación será de mucha utilidad para las entidades encargadas porque tendrán un conocimiento actualizado del estado del pavimento rígido en el jr. Porvenir y los más beneficiados serán la población del distrito de Huancaray, peatones y conductores.

La justificación económica del presente estudio se justifica debido a que permite optimizar el uso de los recursos financieros, al identificar de manera precisa el nivel de intervención más adecuado para el pavimento, evitando gastos innecesarios por

sobredimensionamiento de soluciones o por intervenciones tardías que incrementan los costos de rehabilitación.

La evaluación del pavimento garantiza la seguridad vial, la eficiencia del transporte y la durabilidad de las infraestructuras. El jirón Porvenir en el distrito de Huancaray es una vía de importancia local que experimenta un flujo constante de vehículos y actividades urbanas. Sin embargo, hasta el momento, no se ha realizado una estimación exhaustiva del estado del pavimento en esta área específica

2.4 Variables

Variable independiente: Evaluación funcional

Conceptualmente PCI se define como una metodología que representa la forma más exhaustiva de evaluar y calificar de manera objetiva tanto pavimentos flexibles como rígidos. (Vásquez, 2002)

Se define operacionalmente como la determinación del índice numérico obtenido mediante la inspección visual de las patologías presentes en la superficie del pavimento, aplicando la metodología del Pavement Condition Index (PCI) según la norma ASTM D6433. Se medirán los tipos de fallas, sus niveles de severidad y densidad para calcular un valor en una escala del 0 al 100, que clasificará el estado del pavimento desde "Fallado" hasta "Excelente".

Variable independiente: Evaluación estructural

Conceptualmente se lo conoce como el proceso mediante el cual se analiza la capacidad de la estructura del pavimento para resistir cargas de tráfico y condiciones ambientales sin presentar fallas prematuras. (Pérez et al., 2004)

Operacionalmente se determinará estimando a través de la viga de Benkelman y el llenado de la ficha correspondiente verificando la calidad del material in situ.

Variable dependiente: Nivel de intervención de la vía

De manera conceptual se define como el nivel de intervención de la vía se refiere al tipo de acción que se debe realizar en un pavimento en función del grado de deterioro que tiene.

La definición operacional se estableció cruzando los resultados del PCI y la evaluación estructural para seleccionar la estrategia técnica más adecuada según los rangos establecidos por manuales técnicos.

Tabla 2

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente. Evaluación funcional: PCI es una metodología que representa la forma más exhaustiva de evaluar y calificar de manera objetiva tanto pavimentos flexibles como rígidos. (Rondón y Reyes, 2023)	Dimensión 1: Fisuras y Grietas	1.1 Longitud de Fisuras	cm
	Dimensión 2: Deformaciones y Baches son las fisuras de desplazamiento se ocasionan por la falta de adherencia entre la carpeta de superficie y la carpeta inferior. (Rondón y Reyes, 2023)	1.2 Ancho de Fisuras	cm
		2.1 Profundidad de Baches	cm
	Dimensión 3: Desprendimientos y Descascaramiento Al desgaste gradual de la superficie de rodamiento como consecuencia de la disgregación y desprendimiento del material que lo conforma. (Rondón y Reyes, 2023)	2.2 Área Afectada por deformaciones	m ²
		3.1 Área de descascaramiento	m ²
		3.2 Profundidad de descascaramiento	cm
Variable independiente.	Dimensión 1: Viga Benkelman	1.1 Deflexión máxima (mm)	mm

<p>Evaluación estructural: Es el proceso mediante el cual se analiza la capacidad de la estructura del pavimento para resistir cargas de tráfico y condiciones ambientales sin presentar fallas prematuras. (Perez et al., 2004)</p>	<p>Se utiliza para medir la deflexión del pavimento bajo una carga aplicada, lo que permite determinar la capacidad estructural del pavimento y evaluar su estado de deterioro. (Meza, 2017)</p>	<p>1.2 Nivel de condición estructural</p>	<p>Tipo I Tipo II Tipo III Tipo IV</p>
--	--	--	--

Variable

dependiente.

Nivel de intervención:

El nivel de intervención de la vía se refiere al tipo de acción que se debe realizar en un pavimento en función del grado de deterioro que presenta.

El nivel de intervención dependerá de los resultados de evaluación estructural y funcional de la vía.

Nivel de intervención

- Mantenimiento rutinario o preventivo
- Mantenimiento periódico
- Rehabilitación estructural
- Reconstrucción total

Nota. Elaboración Propia.

III. Marco teórico

3.1 Antecedentes

A nivel internacional, Jain et al. (2023) realizaron una investigación publicada en la revista *Macromolecular Symposia*, el objetivo fue la evaluación estructural de la carretera mediante la viga Benkelman para identificar las causas de su deterioro antes de la ejecución de trabajos de restauración. En esta sección, se aplicó una metodología de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño no experimental. Los ensayos de la viga Benkelman revelaron valores de deflexión superficial que oscilaron entre 0,32 mm y 0,80 mm, mientras que las pruebas de resistencia al deslizamiento arrojaron coeficientes superiores a 0,40, dentro de rangos aceptables. Estos resultados permitieron diagnosticar con precisión el estado estructural y la adherencia superficial del pavimento, resaltando la importancia de evaluaciones periódicas para priorizar intervenciones de mantenimiento de acuerdo con la magnitud de las fallas, así como prevenir intervenciones innecesarias mediante la identificación temprana de las causas del deterioro.

Ranjan et al. (2023) elaboraron una investigación y lo publicó en *Journal of Propulsion Technology* con la finalidad de comparar las deflexiones medidas por la viga Benkelman y el Falling Weight Deflectometer (FWD) en la evaluación de la capacidad estructural del pavimento. Se empleó una metodología de enfoque cuantitativo y nivel comparativo. Los resultados mostraron que, pese a las diferencias en las condiciones de carga —0,56 mm promedio con la viga Benkelman frente a 0,52 mm con el FWD, ambos métodos evidenciaron tendencias semejantes y valores estadísticamente comparables ($p > 0,05$). Esto indicó que, para fines de evaluación estructural, las dos técnicas ofrecieron información válida y complementaria, esencial para el diseño de estrategias de rehabilitación de pavimentos. Concluyeron que el estudio confirma que tanto la viga Benkelman como el FWD pueden utilizarse de forma fiable para diagnósticos previos a proyectos de rehabilitación vial, optimizando la toma de decisiones técnicas y económicas.

Pérez (2022) elaboró un estudio con el objetivo de “realizar levantamiento de fallas del pavimento con el fin de examinar el impacto de seguridad y movilidad generado por el mal estado de la Av. La Victoria”, para ello utilizó una metodología de enfoque cualitativo, alcance descriptivo, diseño no experimental. Obteniendo las siguientes patologías como resultados en el tramo 1 losa dividida 23, sello de junta 26, grieta lineal 28 y pulimiento de agregados 31 lo que hacen una densidad de 35.7% traduciéndose en un PCI de 16 que es muy malo y según las normas su tratamiento es la reconstrucción, siguiendo esa misma línea se encontraron las siguientes condiciones del pavimento 2 muy malo, 5 malo, 6 regular, 3 bueno y 3 muy bueno los mismos que requieren el siguiente tratamiento reconstrucción, rehabilitación, mantenimiento periódico para los dos últimos. Llegando a la conclusión de que el 10.5 % necesita reconstrucción, el 3.6% mantenimiento periódico y el 57.9 % rehabilitación por lo que se necesita una intervención tipo rehabilitación en la totalidad del tramo, las patologías que tienen más ocurrencia son grietas de esquina, sello de junta y grieta lineal.

Montes de Oca et al. (2021) elaboraron un estudio científico y lo publicaron en la revista *Infraestructura Vial* con el objetivo de evaluar los pavimentos rígidos a través de la auscultación visual y con un levantamiento automático mediante el Geo 3D. Empleando una metodología de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, diseño no experimental y corte transversal. Obteniendo los siguientes resultados en el tramo La Salle – Universal de los deterioros más frecuentes los cuales fueron daño en sello de junta 330, pulimiento de agregado 167, fractura en esquina 131, desprendimiento de agregado 39 y fractura de junta 27. Siguiendo esta lógica se procedió a calcular el PCI de acuerdo con la metodología establecida en la norma ASTM D6433-20 resultando que la ruta nacional 1 con PCI 98 y condición bueno, ruta 204 con 91 y condición bueno, ruta 211 con 92 condición bueno, ruta nacional 167 con 89 condición bueno, ruta nacional 218 con 81 y condición satisfactoria, ruta nacional 2 con 81 y condición satisfactoria y ruta nacional 18 con 56 y condición pobre. Llegando a la conclusión de que los deterioros más frecuentes en los pavimentos rígidos evaluados fueron el daño de sello de junta, desprendimiento de agregados, pulimiento de

agregado y agrietamiento lineal, el PCI promedio de las losas es de 84, gran parte de los deterioros observados se deben a problemas con la calidad de los suelos y la evacuación de aguas.

Prabhu et al. (2021) realizaron un artículo científico publicada en la revista Springer, donde realizo una evaluación funcional y estructural de pavimentos flexibles con el fin de determinar la necesidad y el diseño de una sobrecubierta, garantizando así el buen estado de servicio ante el incremento de cargas de tráfico. Este aumento, impulsado por el desarrollo comercial, residencial e industrial, ha acelerado el deterioro de la carpeta asfáltica, evidenciado por deflexiones de características promedio de 1,25 mm y un tránsito estimado de 5,2 millones de ejes equivalentes de 8,2 toneladas (ESAL). La metodología adoptó un enfoque cuantitativo y nivel descriptivo. Los resultados confirmaron que el deterioro estructural está directamente asociado al crecimiento del tráfico pesado, y que para mantener los pavimentos en condiciones óptimas es indispensable realizar evaluaciones periódicas y diseñar sobrecubiertas en función de la deflexión característica y del tráfico de diseño calculados para cada tramo evaluado.

En cuanto a los antecedentes nacionales, Quinto et al. (2023) elaboraron una investigación que se publicó en la revista Universidad, Ciencia y Tecnología, con el objetivo de evaluar la condición superficial del pavimento asfáltico de la pista de aterrizaje del Aeropuerto "Alfárez FAP David Figueroa Fernandini" de Huánuco, Perú. El estudio fue de nivel descriptivo, con diseño no experimental y corte transversal. Los resultados indicaron un PCI promedio de 62, clasificando el pavimento en estado "bueno". Las fallas más comunes fueron piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales, y peladura, todas de severidad baja. La sección "B" presentó mayor afectación, especialmente en la zona de aterrizaje (UM 17 a UM 35). Las secciones "A" y "C" obtuvieron promedios de PCI de 63,5 y 64, respectivamente. El mejor estado se registró en la UM47 y UM50 de la sección C (PCI de 77 y 76, "muy bueno"), mientras que el más bajo correspondió a la UM23 de la sección B (PCI de 45, "regular"). Concluyéndose que el deterioro se debe principalmente a

los 59 años de antigüedad de la pista y a la ausencia de un mantenimiento integral, limitándose a labores de limpieza superficial.

Ramírez y Valenzuela (2023) elaboraron una investigación que se publicó en la revista *Infraestructura Vial*, con el objetivo de diseñar un plan de mantenimiento periódico para la prolongación de la vida útil del pavimento en el tramo Paradero Las Retamas - Puente Los Ángeles de la carretera Central. El estudio fue de enfoque cuantitativo, descriptiva, no experimental de corte transversal. Los hallazgos permitieron determinar un PCI general de 62, calificado como "bueno", un Índice Medio Diario Anual (IMDA) de 31 236 veh/día, que clasifica a la vía como autopista de primer orden. Por su parte, la alternativa de mantenimiento más viable resultó el simple tratamiento superficial, el cual viene acompañado de la aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre pavimento granular. Concluyendo que el estado actual del pavimento flexible a través del PCI y del IMDA, de manera general, se encuentra en estado bueno con un PCI en el rango de 70 - 55, atribuido a una mayor incidencia de fallas tipo piel de cocodrilo, huecos, grietas longitudinales y transversales. Por su parte, el IMDA resultó mayor a 6000 veh/día, lo que clasifica a la carretera central como una autopista de primer orden.

Flores et al. (2023) publicó en la revista *Salud, Ciencia y Tecnología* una investigación con el objetivo de examinar estudios previos sobre la aplicación del método PCI en programas de conservación del pavimento flexible para determinar su efectividad, empleando una metodología de revisión sistemática de literatura en los últimos 5 años, resultando que las distintas bases de datos utilizadas son una fuente clave para la ejecución de la presente revisión sistemática, siendo la base de datos de Scopus con mayor cantidad de artículos encontrados. Además, rescatamos que la mayor porción de artículos analizados se encuentra en los años 2021 - 2022, lo que logra que el presente estudio cuente con información actualizada. Concluyendo que los artículos estudiados acerca de la conservación del pavimento flexible juegan un rol muy importante en la actualidad facilitando la conservación y la duración del pavimento, además de ello, para verificar la calidad durante la ejecución de las obras.

Amez (2023) elaboró la investigación con el objetivo de “determinar la evaluación de patologías de pavimento rígido, aplicando Paviment Condition Index para plantear propuestas de rehabilitación de la Av. Antonio Raimondi”, aplicando una metodología de enfoque cuantitativo, tipo básica, alcance descriptivo - explicativo, diseño no experimental corte transversal. Obteniendo los siguientes resultados para el tramo 1 el tipo de daño 23M con densidad 25% y un valor deducido de 39, para el tipo 29M una densidad de 40% y un VD de 28, para el tipo 28 M una densidad de 25% y un VD 18 y para el tipo 38H una densidad de 10% y un VD de 7, hubo 35 tramos los cuales siguieron el mismo procedimiento, finalmente se obtuvieron las siguientes clasificaciones 2 tramos como muy malo, 8 como malo, 6 regulares, 2 buenos. Concluyendo que las patologías más frecuentes fueron aberturas de esquinas, losa partida, escala, aberturas directas, parche grande, pulimiento de agregado y descascaramiento de juntas, luego de conseguir los resultados de las 18 muestras, se continuó calculando el valor medio del PCI = 38.44 y se correspondió en estado MALO.

En el estudio elaborada por Saavedra (2022) con el objetivo de “analizar las fallas estructurales del pavimento para determinar el estado de conservación a través del método PCI de la Av. Llamellin”, empleando una metodología de enfoque cuantitativo, alcance descriptivo, diseño no experimental. Obteniendo los resultados de PCI para las muestras nro.1 de 0, nro. 2 de 6, nro. 3 de 80, nro. 4 de 91 y nro. 5 de 89, haciendo un valor promedio PCI Total de 53.2 que señala que el estado de conservación de la vía se clasifica como REGULAR. Concluyo que los defectos más frecuentes en las vías son las grietas en las esquinas, representando el 16.18%, las losas divididas con un 15.03% y los parches grandes con un 14.45%. Además, el PCI general calculado para la Av. Llamellin es de 53.2, lo que también indico una condición regular.

Solis (2021) realizó un estudio con el fin de “evaluar la condición superficial del pavimento rígido de la Calle Elías Aguirre, Aplicando el Método PCI”, empleando una metodología de tipo básica, enfoque cuantitativo, nivel descriptivo – explicativo, diseño no experimental – transversal. Obteniendo resultados PCI para sus muestras de 42.9 regular,

36.85 malo, 37.68 malo, 64.53 bueno, 55.17 regular, 62.09 bueno, 62.71 bueno, 41.14 regular, 35.33 malo, 31.96 malo, 38.77 malo, 31.91 malo, 11.93 muy malo, 36.47 malo, 49.38 regular, 60.15 bueno y 24.77 muy malo, las patologías más frecuentes fueron las de grieta de esquina y pulimiento de agregados con un indicador del 60%, seguido de un 45% de retracción y 30% en escala. Concluyendo que un total de 9 muestras analizadas se halla en un nivel malo y muy malo, 4 muestras en estado regular y 4 muestras encontradas en un estado bueno de acuerdo con el índice de PCI, las fallas más frecuentes fueron las de grieta de esquina, la falla de pulimiento de agregados, fallas de retracción y losa dividida, finalmente las fallas de mayor severidad fue el pulimiento de agregados seguido de grietas de esquina.

Finalmente, en cuanto respecta a los antecedentes regionales y locales, Llamccaya (2023) elaboró una investigación con el objetivo de “determinar la variabilidad de resultados en la evaluación de fallas superficiales del pavimento rígido para mejora del tránsito vial”, empleando una metodología de enfoque cuantitativo, alcance descriptivo, diseño no experimental y corte transversal. Obteniendo los resultados en la primera muestra fallas con severidad media y baja con un PCI de e 58.35 que le da un calificativo de bueno, en la siguiente muestra se encontró fallas de severidad media y baja con un PCI de 64 que le da un calificativo de bueno. Concluyendo que las fallas más frecuentes encontradas fueron la grieta de esquina, losa dividida, losa dividida, grieta lineal y descascaramiento, el valor deducido corregido el tramo 1 obtuvo el 58.23 (bueno), muestra 2 obtuvo 64 (bueno) y el tramo 3 obtuvo 65 (bueno), estos valores atribuyen al pavimento como bueno.

Obregón (2018) elaboró la investigación con el objetivo de “determinar la condición operacional del pavimento rígido, mediante el método de índice de condición del pavimento (PCI)”, empleando una metodología de alcance descriptiva – explicativa, método inductivo, diseño no experimental y corte transversal. Los resultados obtenidos muestran que la primera cuadra tiene un valor de PCI de 24.30, lo que se clasificó como MUY MALO. En la segunda cuadra, el PCI es de 20.36, también clasificado como MUY MALO. La tercera cuadra presenta un PCI de 43.98, correspondiente a una clasificación REGULAR, mientras

que la cuarta cuadra tiene un PCI de 51.12, igualmente clasificada como REGULAR. La quinta cuadra registra un PCI de 13.19, lo que se clasifica como MUY MALO, y la sexta cuadra alcanza un PCI de 10.14, también en la categoría de MUY MALO. Con base en estos hallazgos, concluyo que el Jr. Ramón Castilla obtuvo un PCI de 27.18, clasificando el pavimento como MALO, mientras que el Jr. Juan Antonio Trelles registró un PCI de 58.26, clasificando el pavimento como BUENO.

3.2 Bases teóricas

La Teoría de la Ingeniería de Pavimentos trata sobre un enfoque en los principios y prácticas de diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos. Se puede explorar cómo las evaluaciones del PCI se alinean con los estándares y directrices de la ingeniería de pavimentos. Esta disciplina se ha desarrollado a lo largo de los años, con contribuciones de muchos ingenieros y científicos, entre los más importantes tenemos al ingeniero estadounidense Karl Von Terzaghi quien realizó grandes descubrimientos en la mecánica de suelos y estudió las fuerzas o cargas que son establecidas en la superficie terrestre y el comportamiento de ellas debido a la carga aplicada, es considerado el padre de la mecánica de suelos porque sus trabajos sobre el comportamiento de los suelos bajo carga han sido fundamentales para el diseño de pavimentos. (Cárdenas, 2021)

Los pavimentos rígidos se caracterizan por estar compuestos por una losa de concreto que se coloca sobre una base o directamente sobre la subrasante. Estos pavimentos distribuyen los esfuerzos al suelo de manera reducida, tienen una capacidad de auto-resistencia, y es necesario controlar la cantidad de concreto utilizada (DNP, 2021). Ampliando este concepto Ortiz y Tocto (2019) señalan que el pavimento rígido consiste en una losa de concreto hidráulico que sirve como superficie de rodadura para el tránsito de vehículos. Generalmente, se coloca sobre una base que puede ser granular o estabilizada. Este tipo de pavimento se construye utilizando una mezcla de cemento Portland junto con agregados gruesos y finos. El espesor del pavimento varía en función del volumen de tráfico que debe soportar, y en algunas ocasiones se incorpora un refuerzo de acero.

Es relevante considerar que los pavimentos pueden emplear diversos materiales, como piedras o maderas. No obstante, en varios países, el término se asocia principalmente al asfalto, utilizado en la construcción de calles, carreteras y otras vías de comunicación. Las mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más comúnmente utilizados en la creación de pavimentos urbanos, destacándose por su robustez y capacidad para soportar el tránsito vehicular sin sufrir daños significativos. En los años recientes, se ha promovido el desarrollo de pavimentos más sostenibles y amigables con el medio ambiente. En este sentido, destaca la innovación que mezcla asfalto con polvo de caucho derivado de neumáticos reciclados, además del empleo del producto llamado noxer, que tiene la capacidad de absorber la contaminación emitida por los tubos de escape de los vehículos.

El PCI es un método que ofrece una forma integral y objetiva de evaluar y calificar pavimentos tanto flexibles como rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial actuales. Su aplicación es simple y no requiere herramientas especializadas adicionales, más allá de las incluidas en el sistema, las cuales se describen a continuación. Se contemplan todos los tipos de deterioro originalmente incluidos en el PCI, aunque se realizarán observaciones pertinentes sobre las patologías que no deben considerarse debido a su origen o naturaleza ajena a las condiciones locales. Quienes utilicen esta guía estarán capacitados para identificar estos casos con comprensión inmediata (Vásquez, 2002).

La degradación de la estructura del pavimento se determina por el tipo de daño, su gravedad y la cantidad o densidad de este. La elaboración de un índice que tome en cuenta estos tres factores ha sido difícil debido a la amplia gama de posibles circunstancias. Para solucionar este problema, se implementaron los "valores deducidos", que actúan como un tipo de factor de peso, con el objetivo de señalar el nivel de influencia que cada mezcla de tipo de daño, gravedad y densidad ejerce sobre la condición del pavimento. El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es un indicador numérico que oscila entre cero (0), lo que señala un pavimento deteriorado o defectuoso, y hasta cien (100), que simboliza un

pavimento en condiciones ideales. Cada espectro de PCI está vinculado a una descripción cualitativa que refleja el estado del pavimento.

La tabla 3 muestra los diferentes rangos de calificación de una vía que es evaluada a través del método PCI:

Tabla 3

Rangos de calificación del PCI.

Rango	Clasificación
85 - 100	Excelente
70 - 85	Muy bueno
55 - 70	Bueno
40 - 55	Regular
25 - 40	Malo
10 - 25	Muy malo
0 - 10	Fallado

Nota. Extraído de Vásquez (2002)

La determinación del PCI se fundamenta en los hallazgos de un inventario visual que evalúa la condición del pavimento, donde se establecen la CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño existente. Esta metodología fue creada para ofrecer un indicador que represente tanto la solidez estructural del pavimento como el estado de funcionamiento de su superficie. El registro de los daños recolectados durante el inventario ofrece una perspectiva nítida de las razones de los deterioros y su vínculo con las cargas o las condiciones meteorológicas.

En relación con las Fisuras y Grietas, Corral (2004) manifiesta que las grietas y fisuras son rupturas que se manifiestan en el concreto debido a tensiones que superan su capacidad de resistencia. La aparición de estas fracturas se atribuye a diversas causas, siendo las de origen químico las principales, vinculadas principalmente a alteraciones derivadas de la hidratación del cemento y la oxidación del acero de refuerzo. Por otro lado, las causas físicas, que son principalmente comunes, se deben a dos tipos de acciones que, a pesar de ser etimológicamente diferentes, provocan cambios volumétricos significativos. Estos cambios se manifiestan en forma de expansiones y contracciones. Así, cuando las

partículas de hormigón están limitadas, la expansión genera esfuerzos de compresión, mientras que la contracción da lugar a esfuerzos de tracción. Particularmente el concreto es poco resistente ante este último tipo de prueba, ocasionando el agrietamiento cuando este excede sus límites de resistencia.

Deformaciones y Baches son las fisuras de desplazamiento ocurren debido a la falta de adherencia entre la capa de superficie y la capa inferior. Esta falta de adherencia puede ser causada por la presencia de polvo, aceite, agua u otros materiales no adhesivos entre ambas capas. Por lo general, la falta de adherencia se presenta cuando no se ha aplicado un riego de liga. En ocasiones, una mala compactación también puede provocar la ruptura de la adherencia entre las dos capas. (Rebolledo, 2010)

Desprendimientos y Descascaramiento se refiere al deterioro progresivo de la superficie de rodamiento se debe a la disgregación y pérdida del material fino que la conforma, además de la separación y pérdida del matic (combinación de ligante y material fino) alrededor de la matriz de agregados. Esto expone la matriz a una exposición creciente a la influencia abrasiva del tráfico y del clima. En consecuencia, la superficie parece fragmentarse en pequeñas partículas, generando una textura más abierta y rugosa. Este fenómeno se presenta con más regularidad en tratamientos asfálticos y mezclas en frío, pudiendo cubrir extensas zonas del camino o enfocarse en las marcas de tráfico en las vías de circulación. (Shahin, 2005)

La evaluación estructural de vías es un proceso fundamental en la ingeniería civil para determinar la capacidad y condición de los pavimentos, especialmente en redes viales. Existen diversos métodos que se pueden clasificar en convencionales (destructivos) y no destructivos, además de enfoques modernos que incorporan inteligencia artificial y modelos probabilísticos. (Elshamy et. al, 2022)

Aquí se presenta un resumen de los principales métodos:

Métodos indirectos de auscultación (No Destructivos): Estos métodos permiten evaluar la estructura sin dañar el pavimento:

- Viga Benkelman: Utiliza una carga estándar para medir la deflexión del pavimento. Es útil para determinar la capacidad estructural y se complementa con modelos matemáticos como el de Hogg.
- Falling Weight Deflectometer (FWD): Simula el paso de una rueda mediante una carga de impacto. Mide deflexiones en diferentes puntos y permite calcular los módulos de elasticidad de las capas del pavimento.
- Método SARP: Utiliza software especializado para procesar datos de deflexión y evaluar la condición estructural del pavimento.

Métodos directos de auscultación (Destructivos):

- Calicatas o apiques: Se realizan excavaciones para observar directamente las capas del pavimento.
- Ensayos de laboratorio: Se extraen muestras para determinar propiedades como el CBR (California Bearing Ratio) y el módulo resiliente.

Métodos Computacionales y Modelos Matemáticos

- Cálculo Inverso y Directo: Se utilizan softwares como Michback (inverso) y Michpave (directo) para estimar los módulos elásticos de las capas del pavimento a partir de datos de deflexión¹.
- Modelo de Hogg: Permite calcular la rigidez de las capas del pavimento a partir de la geometría de la curva de deflexión².

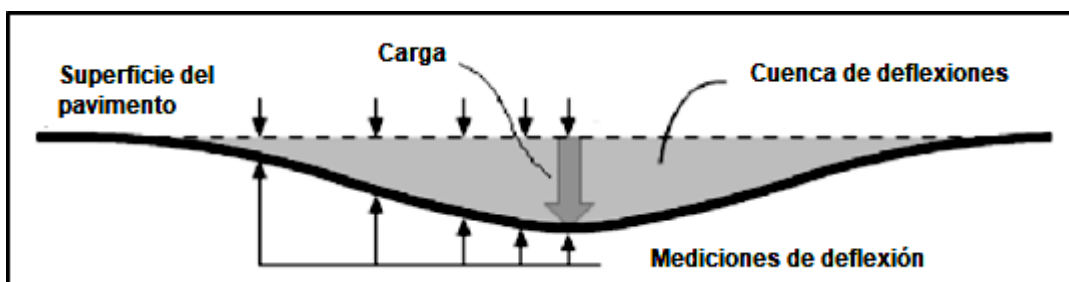
La deflexión es el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento bajo una carga aplicada, que refleja la respuesta del sistema estructural (capas del pavimento y subrasante) ante dicha carga. Así mismo, los dispositivos de deflectometría pueden medir las deformaciones en distintos puntos del pavimento, lo que permite una caracterización completa del patrón de deformación conocido como cuenco de deflexión

En la Figura 1 se observa un diagrama que representa el comportamiento estructural de un pavimento ante la aplicación de una carga. Una fuerza vertical actúa sobre la superficie del pavimento, generando una deformación hacia abajo. Esta deformación se

distribuye en forma de un cuenco, conocido como cuenco de deflexiones. A lo largo de esta deformación, se colocan sensores o puntos de medición que registran las deflexiones en diferentes posiciones respecto al centro de la carga. Estas mediciones permiten analizar cómo responde cada capa del pavimento ante el esfuerzo aplicado, lo cual es fundamental para evaluar su capacidad estructural y planificar intervenciones de mantenimiento o rehabilitación.

Figura 1

Esquema ideal del comportamiento del cuenco de deflexiones

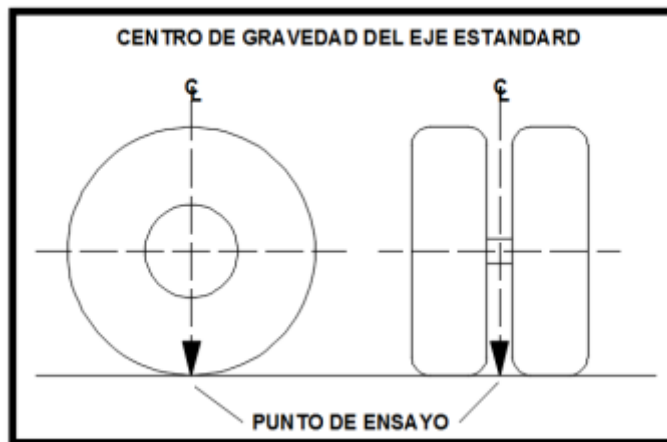


Nota. Extraído de Reyes (2003)

La Viga de Benkelman es un instrumento utilizado para medir la deflexión elástica del pavimento cuando se somete a una carga estática o dinámica, generalmente provocada por el paso de un vehículo pesado de movimiento lento. La deflexión medida indica la capacidad estructural del pavimento y su capacidad de soporte ante el tráfico vehicular. Es una herramienta fundamental en estudios de evaluación de pavimentos flexibles (Triviño y Moll, 2022). La cual está regulada por varias normas técnicas internacionales y nacionales que establecen procedimientos para su uso: ASTM D4695 – Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements (Norma estadounidense para medición de deflexiones), AASHTO T256 – Standard Method of Test for Pavement Deflection Measurements (Método de ensayo estándar de la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte) y en normativas nacionales como Perú, se siguen las especificaciones del Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Figura 2

Empleo de la viga de Benkelman para la medición de deflexiones



Nota. Extraído de MTC (2016)

Las fórmulas utilizadas en el método de la Viga de Benkelman son:

La fórmula básica para calcular la deflexión corregida (D) es:

$$D = d \times 2$$

Donde:

D = Deflexión corregida (mm)

d = Deflexión medida en la viga (mm)

Corrección por temperatura, en algunos casos, es necesario corregir la deflexión considerando la temperatura del pavimento:

$$D_t = D + k (T_r - T_m)$$

Donde:

D_t = Deflexión corregida por temperatura (mm)

D = Deflexión medida (mm)

k = Coeficiente de corrección por temperatura (mm/°C)

T_r = Temperatura de referencia (°C)

T_m = Temperatura medida (°C)

Módulo de reacción del pavimento (MR), se puede calcular un módulo de reacción empírico con base en la deflexión obtenida:

$$MR = \frac{P}{D}$$

Donde:

MR = Módulo de reacción (kg/cm² o MPa)

P = Carga aplicada (kg o N)

D = Deflexión corregida (mm)

La Viga Benkelman, desarrollada por el Dr. A. C. Benkelman en Estados Unidos, es un instrumento preciso y funcional utilizado para medir la deformación elástica en pavimentos flexibles. Gracias a su capacidad para detectar distintos estados y características del pavimento, se convierte en una herramienta esencial en el diseño, la ejecución y el mantenimiento de estructuras viales. Su operación se basa en el principio de la palanca simple, lo que le permite realizar mediciones con eficiencia y confiabilidad. (Hoffman y Del Aguila, 1985)

Durante el procedimiento con la Viga Benkelman, el suelo es sometido a una carga móvil, generalmente aplicada por un vehículo de carga o camión con un eje trasero cargado a 130 kN, equivalente a 13 toneladas. Este eje cuenta con dos neumáticos de 25 cm de diámetro, separados por una distancia de 37,5 cm entre centros, y ejerce una presión de aproximadamente 0,662 MPa sobre el pavimento.

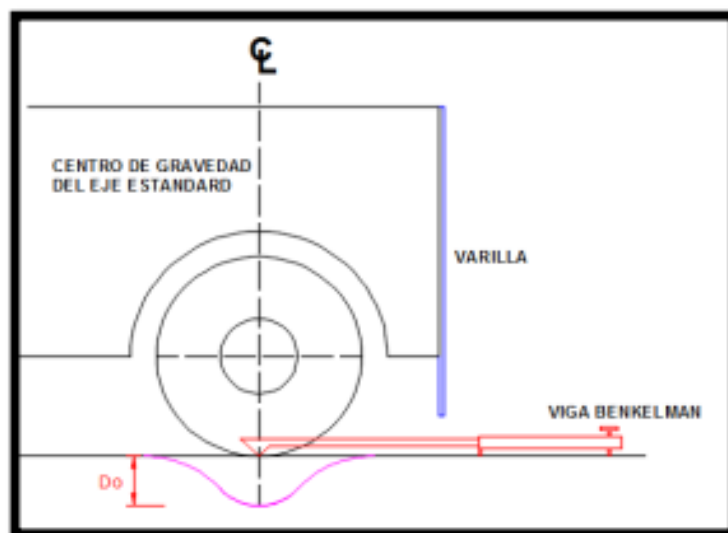
La Viga Benkelman se utiliza para medir la deflexión que esta carga genera en el pavimento. Las mediciones se realizan en centésimas de milímetro, lo que permite una alta precisión en la evaluación de la deformación elástica. Este método puede aplicarse a cualquier tipo de pavimento, sin importar su composición o estructura.

Además de registrar la deflexión, el procedimiento puede incluir la estimación del radio de curvatura del pavimento, lo que aporta información adicional sobre su comportamiento estructural. En condiciones normales, es posible realizar hasta diez pruebas por hora, lo que lo convierte en un método eficiente para estudios de campo. Sin

embargo, la interpretación de los resultados depende en gran medida de la estructura específica del pavimento evaluado.

Figura 3

Vehículo de carga que somete una carga al suelo



Nota. Extraído de MTC (2016)

La deflexión en pavimentos es una medida que refleja la deformación elástica provocada por una carga, pero en este fenómeno también intervienen esfuerzos plásticos. Los esfuerzos elásticos desaparecen una vez que se retira la carga, mientras que los plásticos permanecen en el material. Con el paso del tiempo y la repetición de cargas, estos esfuerzos plásticos se acumulan y generan deformaciones permanentes, como el ahuellamiento en la superficie del pavimento. (Huang, 2004)

La figura 4 muestra los diferentes tipos de deflexión existentes, se distinguen tres tipos de deflexión:

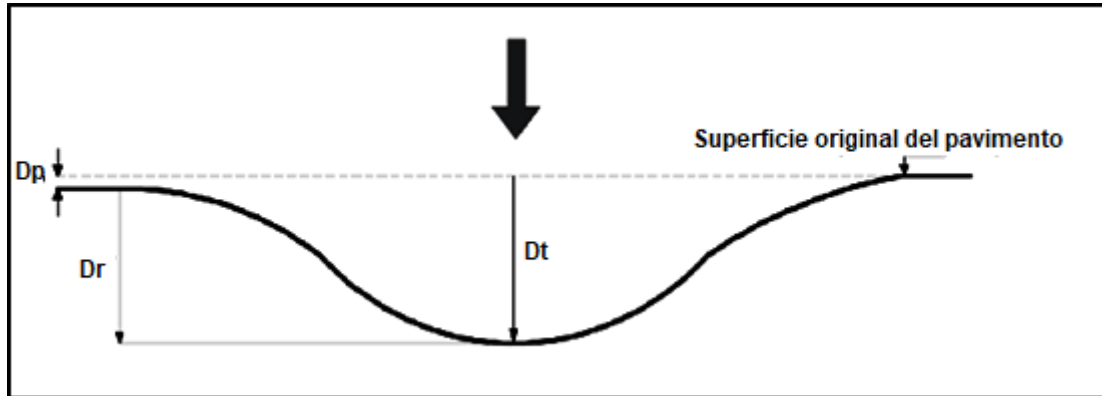
Deflexión total (DT): Es la deformación vertical puntual que se produce en la superficie del pavimento cuando se aplica una carga.

Deflexión recuperable o elástica (DR): Corresponde a la parte de la deformación que desaparece cuando se retira la carga, es decir, la recuperación elástica del pavimento.

Deflexión permanente o residual (DP): Es la diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y la posición final después de retirarla. Representa la deformación que queda como resultado de los esfuerzos plásticos.

Figura 4

Tipos de deflexiones

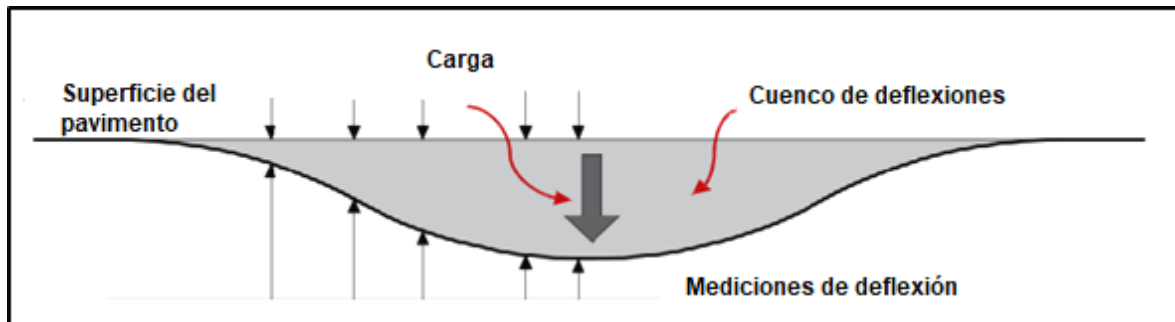


Nota. Extraído de Reyes (2003)

La figura 5 muestra la deflexión en un pavimento representa su respuesta ante una carga aplicada, generalmente generada por el tránsito vehicular. Esta respuesta se manifiesta como una deformación vertical localizada justo en el punto donde actúa la carga. En términos más técnicos, la deflexión puede entenderse como el resultado de integrar matemáticamente las deformaciones verticales que ocurren a distintas profundidades dentro de la estructura del pavimento. En esencia, no se trata solo de una simple deformación superficial, sino de una manifestación del comportamiento estructural del pavimento frente a esfuerzos que se distribuyen en profundidad. Esta medición es clave para evaluar la capacidad del pavimento de resistir cargas repetidas sin sufrir daños permanentes. (Bustamante, 1996)

Figura 5

Deflexión en pavimentos.



Nota. Extraído de Bustamante (1996)

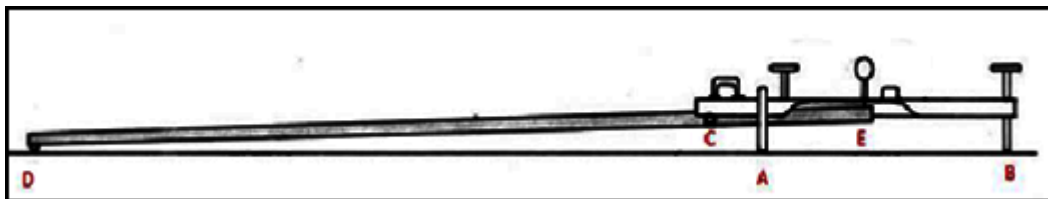
El instrumento más comúnmente empleado para medir la deformación elástica en pavimentos es la Viga Benkelman, desarrollada por Alvin Carlton Benkelman. Este dispositivo destaca por su precisión y funcionalidad, permitiendo obtener información detallada sobre el estado y las propiedades estructurales del pavimento. Gracias a estas capacidades, se convierte en una herramienta fundamental en las etapas de diseño, construcción y conservación de infraestructuras viales. (Montejo, 2002)

Este equipo consiste en un mecanismo sencillo que funciona mediante una palanca suspendida de un bastidor. Esta estructura transmite la deformación vertical del punto de medición hacia un comparador, que registra el desplazamiento. Para realizar las mediciones, se utiliza un camión cargado, generalmente con una carga de 80 kN en el eje trasero, equipado con llantas duales infladas a una presión que oscila entre 0.48 y 0.55 MPa (equivalente a 70–80 psi). (Róndon y Reyes, 2015)

La figura 6 muestra que durante el procedimiento, la punta de la viga se coloca entre las dos ruedas traseras del vehículo. La deflexión se mide en el momento en que el camión se retira, permitiendo observar la respuesta del pavimento ante la carga. Los resultados se registran mediante un dial indicador, tomando tres lecturas clave: una inicial antes de aplicar la carga, una máxima durante la deformación, y una final después de retirar el vehículo.

Figura 6

Esquema de la viga de Benkelman.

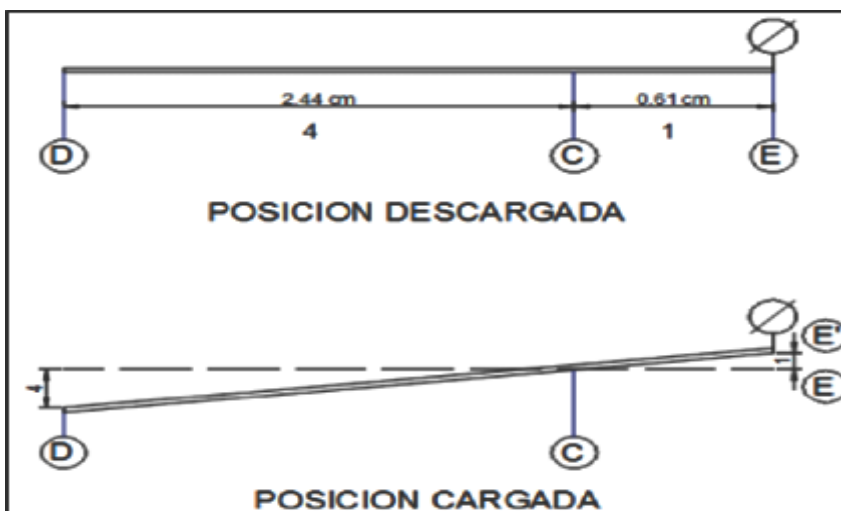


Nota. Extraído de Bustamante (1996)

La figura 7 esboza la Viga Benkelman, según los procedimientos estandarizados, no mide directamente la deformación elástica del pavimento durante la aplicación de la carga. En cambio, parte de un estado inicial en el que el pavimento ya está sometido a carga, y registra la recuperación que experimenta la superficie a medida que dicha carga se retira progresivamente. Este enfoque permite observar el comportamiento elástico del pavimento en condiciones reales de tránsito.

Figura 7

Principio de funcionamiento de la viga de Benkelman.



Nota. Extraído de Bustamante (1996)

El deflectómetro Benkelman está compuesto principalmente por dos elementos. El primero es un cuerpo de sostén que se coloca directamente sobre el terreno mediante tres apoyos: dos delanteros fijos, identificados como "A", y uno trasero regulable, marcado como "B". Esta base proporciona estabilidad al sistema durante la medición.

El segundo componente es un brazo móvil, conectado al cuerpo fijo mediante una articulación giratoria o pivote, denominado "C". Uno de los extremos del brazo se apoya

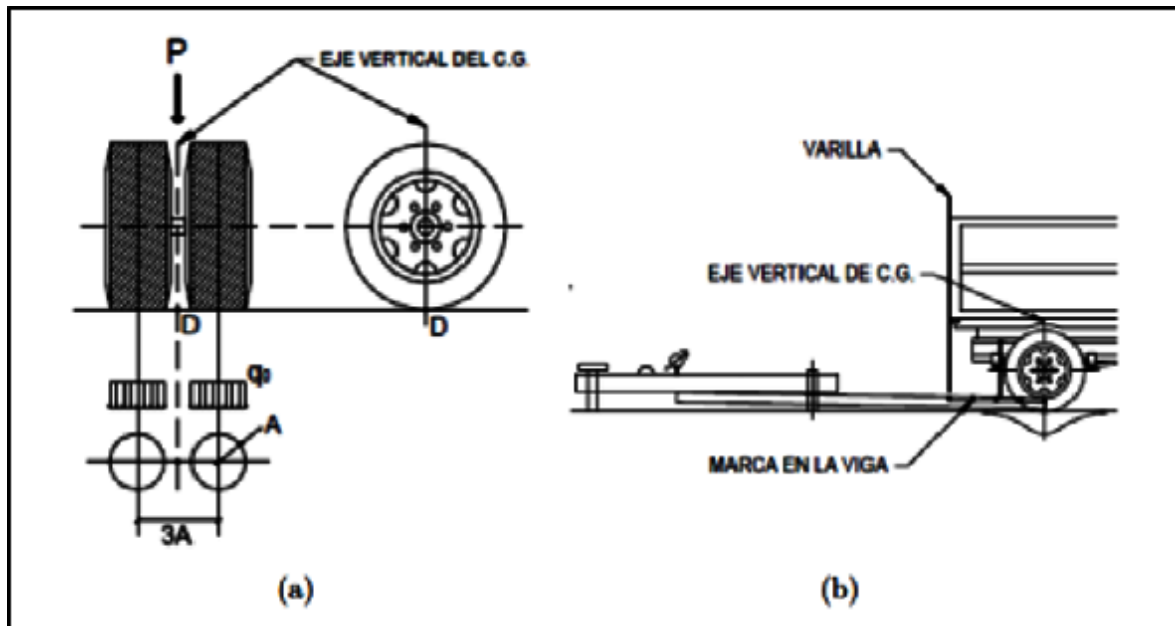
sobre el terreno en el punto "D", mientras que el otro extremo está en contacto con el vástago de un extensómetro vertical, ubicado en el punto "E". Este extensómetro registra los desplazamientos verticales que se producen durante el ensayo. En algunos modelos, el equipo incluye un vibrador incorporado que se activa durante las mediciones. Su función es evitar que el dial indicador se bloquee y minimizar cualquier interferencia externa que pueda afectar la precisión de las lecturas.

El extremo identificado como "D", también conocido como la punta de la viga, tiene un grosor diseñado específicamente para colocarse entre las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Cuando el peso del vehículo se aplica sobre el pavimento, este se deforma, lo que provoca que la punta de la viga descienda respecto al nivel original de la superficie sin carga. Como resultado de esta acción, el brazo de la viga, que conecta los puntos "D" y "E", gira alrededor del punto fijo "C", que actúa como eje de articulación. Este movimiento genera un desplazamiento vertical en el vástago del extensómetro ubicado en el punto "E", lo que produce una lectura en el dial indicador del instrumento.

La figura 8 muestra que, una vez que se retira la carga del camión, el punto "D" tiende a recuperar su posición original en lo que respecta a la deformación elástica. Este proceso genera una nueva lectura en el dial, siguiendo el mismo mecanismo de transmisión de movimiento, que incluye la interacción entre los componentes mecánicos de la viga. Este procedimiento representa el principio de medición de la Viga Benkelman, basado en la observación detallada de la recuperación del pavimento tras la descarga progresiva de la carga, permitiendo evaluar con precisión su comportamiento estructural.

Figura 8

Sistema de carga de ensayos con Viga de Benkelman



Nota. Extraído de Bustamante (1996)

En esta imagen se presentan dos diagramas que ilustran el funcionamiento del sistema de medición de deflexiones en pavimentos mediante la Viga Benkelman. En el diagrama (a), se observa una vista frontal del eje trasero de un camión cargado, que aplica una carga vertical P sobre el pavimento. El sistema cuenta con dos ruedas, entre las cuales se ubica el eje vertical del centro de gravedad (C.G.). Se indican puntos clave como A, D y Q_b , que representan posiciones relevantes para la colocación de la viga y la medición de la deflexión. El punto D corresponde a la punta de la viga, que se inserta entre las ruedas para captar la deformación provocada por la carga.

En el diagrama (b), se muestra una vista lateral del mismo sistema. Aquí se aprecia la varilla conectada a la viga, el eje vertical del C.G., y una marca en la viga que señala el punto de contacto con el extensómetro. Esta configuración permite transmitir el movimiento vertical generado por la deflexión del pavimento hacia el dial indicador, donde se registra la lectura. Ambos diagramas explican cómo se posiciona la Viga Benkelman y cómo se realiza la medición de la recuperación elástica del pavimento al retirar la carga, siguiendo el principio de funcionamiento del equipo.

La figura 9 representa el procedimiento de medición de deflexiones en un pavimento utilizando la Viga Benkelman, mostrando cómo varía la deflexión a medida que el camión se desplaza progresivamente hacia adelante.

Posición Inicial (D_0 = Deflexión máxima):

El camión se encuentra directamente sobre el punto de medición. En esta posición, el pavimento está sometido a la carga máxima, por lo que se registra la deflexión total o máxima.

Posición a 25 cm (D_{25}):

El camión avanza 25 cm desde la posición inicial. La carga comienza a disminuir sobre el punto de medición, y la deflexión registrada es menor que en D_0 . Esta etapa permite observar el inicio de la recuperación elástica del pavimento.

Posición a 50 cm (D_{50}):

El vehículo continúa avanzando, alejándose aún más del punto de medición. La carga sobre el pavimento en ese punto es menor, y la deflexión sigue disminuyendo.

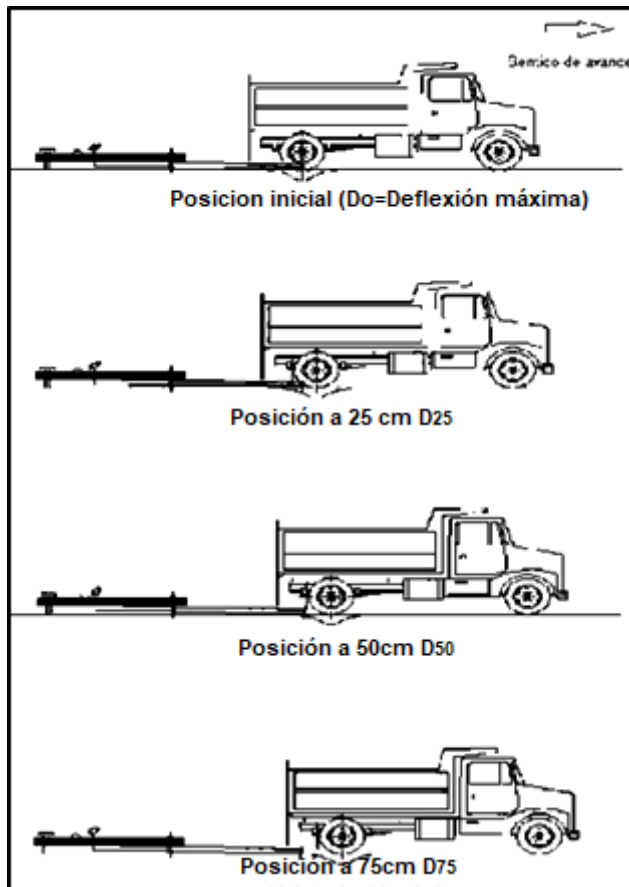
Posición a 75 cm (D_{75}):

El camión se encuentra a 75 cm del punto inicial. En esta posición, la carga sobre el punto de medición es prácticamente nula, y se registra la deflexión final, que refleja la recuperación del pavimento tras la descarga.

Este método de evaluación con la Viga Benkelman permite distinguir claramente entre la deflexión elástica recuperable y la deflexión permanente del pavimento, lo cual es fundamental para determinar su capacidad estructural. Al comparar las lecturas obtenidas en cada posición antes, durante y después de la aplicación de la carga, se puede calcular con precisión la recuperación del material. Esta información es esencial para evaluar el comportamiento del pavimento frente a cargas repetidas, como las que generan los vehículos pesados en tránsito constante. Además, el análisis de estas deflexiones proporciona datos valiosos para planificar intervenciones de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción, optimizando los recursos disponibles y prolongando la vida útil de la infraestructura vial de manera eficiente y sostenible.

Figura 9

Esquematación del proceso de medición con la Viga Benkelman



Nota. Extraído de Bustamante (1996)

Para calcular la deflexión máxima en un pavimento utilizando la Viga Benkelman, se toma como referencia la diferencia entre la lectura final y las lecturas intermedias obtenidas durante el desplazamiento progresivo del vehículo. Estas diferencias reflejan la recuperación elástica del pavimento a medida que la carga se retira. Una vez obtenidas las diferencias, se multiplican por el factor de amplificación correspondiente a la relación de brazos de la viga. En este caso, dicha relación es 1:4, lo que significa que el desplazamiento registrado por el dial se amplifica cuatro veces para obtener la deflexión real en el punto de contacto con el pavimento. Este procedimiento permite obtener una estimación precisa de la deformación vertical que experimenta el pavimento bajo carga, lo cual es fundamental para evaluar su capacidad estructural y planificar acciones de mantenimiento.

$$D_n = (L_f - L_n) \times 4$$

Donde:

D_n : Deflexión en la medida n.

L_f : Lectura en la medida final.

L_n : Lectura en la medida n.

Corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura

La magnitud de las deflexiones en un pavimento tiende a incrementarse cuando aumenta la temperatura de la carpeta asfáltica, debido a que la mezcla pierde rigidez con el calor. Para obtener resultados comparables y confiables, es necesario corregir las deflexiones medidas a una temperatura estándar de 20 °C.

Con ese propósito, el estudio CONREVIAl propone una fórmula específica que permite ajustar las deflexiones registradas en campo, de modo que todas se refieran a esa temperatura de referencia. Esta corrección garantiza que las evaluaciones estructurales del pavimento no se vean afectadas por variaciones térmicas durante las mediciones.

La fórmula siguiente es la corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura:

$$D_{20^{\circ}C} = \frac{D_t}{((K * (t^{\circ} - 20^{\circ})) * h) + 1)}$$

Corrección por estacionalidad

La capacidad de un suelo para deformarse está estrechamente relacionada con su nivel de saturación. Por esta razón, se recomienda realizar las mediciones de deflexión durante la temporada de lluvias, cuando los suelos se encuentran en su condición más crítica debido al alto contenido de humedad. Esta situación permite obtener valores más representativos del comportamiento estructural del pavimento bajo condiciones desfavorables.

En caso de que las mediciones no se realicen en dicha época, es necesario aplicar una corrección a los valores obtenidos, con el fin de considerar adecuadamente el efecto

de la humedad en la respuesta del suelo. Para ello, se utilizan factores de ajuste que modifican los valores de deflexión registrados, asegurando que reflejen de manera más precisa el estado real del pavimento bajo condiciones de saturación.

A continuación se muestra la tabla de factores de corrección por estacionalidad:

Tabla 4

Factores de corrección por estacionalidad.

Tipo de suelo de la subrasante	Estación lluviosa	Estación seca
Arenoso – permeable	1.0	1.1 – 1.3
Arcilloso – Sensible al agua	1.0	1.2 – 1.4

Tipos de deflexión estructural

En el análisis deflectométrico de pavimentos mediante la Viga Benkelman, se identifican cuatro tipos de deflexión estructural, clasificados como Tipo I, Tipo II, Tipo III y Tipo IV, según la magnitud de las deflexiones medidas y su interpretación en términos de condición estructural del pavimento. Esta clasificación permite orientar decisiones sobre mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción.

La tabla 5 trata sobre el análisis de deflexiones con la Viga Benkelman, se identifican cuatro tipos de comportamiento estructural del pavimento, clasificados como Tipo I, Tipo II, Tipo III y Tipo IV. Esta clasificación se basa en la magnitud de las deflexiones medidas y permite interpretar el estado del pavimento y definir las acciones necesarias para su mantenimiento o rehabilitación.

El Tipo I corresponde a pavimentos que presentan deflexiones bajas, Deflexiones pequeñas indican que la estructura del pavimento presenta una capacidad adecuada para soportar las cargas aplicadas, requiriendo únicamente actividades preventivas de conservación. (Hall et al., 2001)

El Tipo II se asocia a deflexiones moderadas, lo que sugiere que el pavimento comienza a mostrar signos de desgaste. Aunque su rigidez aún es aceptable, se

recomienda aplicar medidas preventivas como refuerzos ligeros o mantenimiento periódico. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2018)

El Tipo III se refiere a deflexiones altas, que evidencian una pérdida significativa de rigidez estructural. Este tipo de comportamiento indica que el pavimento está en condiciones deficientes y necesita una rehabilitación estructural para recuperar su capacidad de soporte. (Johnson, 2000)

El Tipo IV representa deflexiones muy altas, propias de pavimentos que han perdido gran parte de su capacidad estructural. En estos casos, la única solución viable es la reconstrucción total del paquete estructural. (AASHTO, 1993)

Tabla 5

Resumen de los tipos de deflexión y sus acciones recomendadas

Tipo de Deflexión	Magnitud	Condición del Pavimento	Acción Recomendada
Tipo I	Baja	Buena	Mantenimiento rutinario
Tipo II	Moderada	Regular	Refuerzo o mantenimiento leve
Tipo III	Alta	Deficiente	Rehabilitación estructural
Tipo IV	Muy alta	Crítica	Reconstrucción total

Nota. Extraído de Ministerio de transportes y comunicaciones (1982)

3.3 Definición de términos

El pavimento rígido se define como una estructura constituida fundamentalmente por una losa de concreto hidráulico apoyada sobre una subbase o directamente sobre la subrasante. Debido a su alta rigidez, distribuye las cargas de los vehículos sobre un área relativamente grande del suelo de fundación, haciendo que la capacidad portante de la estructura dependa mayoritariamente de la losa de concreto y no tanto de las capas inferiores (Montejo Fonseca, 2002).

Sub rasante se define como el terreno de fundación o suelo natural preparado y compactado que sirve como soporte a toda la estructura del pavimento. Su función es resistir las cargas que el pavimento le transmite sin sufrir deformaciones perjudiciales (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

Sub base de los pavimentos rígidos se define como la capa que se encuentra inmediatamente debajo de la losa de concreto. Su función principal es prevenir el bombeo (pumping) de los suelos finos, proteger contra las heladas y proporcionar una plataforma de trabajo estable para la construcción de la losa (Huang, 2004).

Base el pavimento rígido se define como la capa, bajo la losa se denomina usualmente subbase, cuando se utilizan materiales de alta calidad o estabilizados (como bases tratadas con cemento) para incrementar la capacidad estructural o drenaje, se le denomina base. Su objetivo es uniformizar el apoyo de la losa y controlar cambios volumétricos (AASHTO, 1993).

Peladuras (Scaling) es la desintegración progresiva de la parte superior de la losa de concreto o mortero, provocando la exposición de los agregados. Generalmente se asocia a un curado deficiente o ciclos de hielo-deshielo, resultando en una superficie rugosa y con pequeñas cavidades (ASTM International, 2020).

Baches (Potholes) se define como la descomposición o desintegración de la losa de concreto en un área localizada, resultando en una depresión de bordes irregulares. Se generan usualmente por la evolución de fallas de menor severidad no tratadas (Shahin, 2005).

Fisuración transversal son fracturas que ocurren perpendicularmente al eje central del pavimento o a la dirección del tráfico. Son causadas comúnmente por tensiones térmicas, contracción por secado o movimientos de las juntas (Huang, 2004).

Fisuración longitudinal son fracturas que corren paralelas a la línea central del pavimento. Pueden ser causadas por un asentamiento de la subrasante, mal alineamiento de las barras de transferencia de carga o alabeo de la losa (Miller & Bellinger, 2014).

Descascaramiento (Spalling) de juntas es la rotura, fragmentación o desprendimiento de los bordes de la losa dentro de los 0.6 metros (2 pies) de la junta. Una profundidad superior a los 5 mm indica un deterioro que interfiere con la funcionalidad de la junta y genera escombros (ASTM International, 2020).

Fisuras capilares (Crazing) se manifiestan como una malla de fisuras superficiales muy finas que se extienden solo en la superficie del concreto (patrón de mapa). Generalmente son consecuencia de un acabado excesivo o un curado inadecuado que seca la superficie prematuramente (Shahin, 2005).

Pulimiento de la superficie (Polished Aggregate) ocurre cuando la textura superficial del concreto se desgasta hasta quedar lisa debido a la abrasión del tráfico repetitivo, reduciendo significativamente la fricción y la seguridad, especialmente cuando el pavimento está mojado (Miller & Bellinger, 2014).

Roturas de esquina (Corner Break) es una fisura que intersecta las juntas transversal y longitudinal a una distancia menor o igual a 1.8 metros (6 pies) desde la esquina de la losa, formando un triángulo que tiende a hundirse bajo las cargas (ASTM International, 2020).

Dislocamiento (Faulting) es la diferencia de elevación entre dos losas adyacentes en una junta. Es causado principalmente por la erosión de la base o subbase bajo la losa de salida y la acumulación de materiales bajo la losa de entrada (bombeo), provocando un "escalón" (Huang, 2004).

Hundimiento (Settlement/Depression) se define como un descenso localizado de la superficie del pavimento respecto al nivel original, causado por el asentamiento o consolidación de las capas inferiores (subrasante). Puede generar fisuras adicionales debido a la falta de soporte uniforme (Shahin, 2005).

Levantamiento de losas (Blowup/Buckling) ocurre principalmente en climas cálidos cuando las juntas no tienen suficiente espacio para la expansión térmica del concreto. La presión axial provoca que la losa se levante o se fracture violentamente en las juntas (Montejo Fonseca, 2002).

Índice de Condición del Pavimento (PCI): Es un indicador numérico estadístico desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. que califica la condición superficial del pavimento en un rango de 0 (pavimento fallado) a 100

(excelente). Este índice se calcula basándose en la densidad, severidad y tipo de fallas presentes (Shahin, 2005).

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, que según Baena (2017), este tipo de investigación se orienta hacia la generación de una nueva solución, aportando así a la ampliación de teorías existentes y abordando necesidades específicas. Su propósito principal se encuentra en el estudio y análisis del problema identificado, con la resultante implementación de acciones que contribuyan a su solución. Además, permite vincular el conocimiento teórico con la práctica, facilitando la toma de decisiones fundamentadas y mejorando procesos en contextos reales.

El presente estudio adoptó un enfoque cuantitativo, se basó en la recopilación y análisis de datos para abordar las preguntas de investigación y validar las hipótesis previamente formuladas (Ñaupas et ál., 2014). Este método se apoyó en la medición de variables a través de instrumentos de investigación, haciendo uso de cálculos matemáticos para el análisis de datos y la contrastación de hipótesis.

El nivel de la investigación fue descriptivo, según lo señala Hernández y Mendoza (2018) una investigación como esta se caracterizó por estudiar las características, propiedades y fenómenos de un determinado objeto, situación o grupo, sin buscar establecer relaciones de causalidad o explicar el porqué de dichas características, se centró en recolectar datos de manera detallada para elaborar una representación precisa del objeto de estudio.

El diseño de la investigación fue experimental porque hubo una manipulación matemática de las variables para el procesamiento y obtener un resultado, existen variables dependientes e independiente; Por otro lado, fue de corte transversal ya que las mediciones y captura de datos se realizaron en un periodo de tiempo preestablecido. En ese sentido, las investigaciones de corte transversal recopilan datos de una población o muestra en un solo punto en el tiempo. En lugar de realizar un seguimiento de los participantes a lo largo del tiempo. (Hernández y Mendoza, 2018)

4.2 Ámbito temporal y espacial

El espacio temporal se refiere al período en el que se realizó la investigación. En la presente, el espacio temporal fue el año 2024, ya que indica que la evaluación del pavimento rígido se está llevando a cabo en el presente año. Por otro lado, el ámbito espacial hace referencia al lugar o la ubicación específica donde se llevó a cabo el estudio. En este caso, es el jirón Porvenir en el distrito de Huancaray, provincia de Andahuaylas que pertenece a la región de Apurímac.

4.3 Población y muestra

La población de estudio se refiere a un grupo específico de casos que está claramente definido, tiene límites establecidos y es accesible para el investigador. Este conjunto de casos se convertirá en el punto de referencia para la selección del tramo, la cual debe cumplir con una serie de criterios predeterminados (Arias et al., 2016). En consecuencia, la población de estudio de la presente investigación es el jr. Porvenir distrito de Huancaray provincia de Andahuaylas.

La muestra es un subconjunto o fracción del universo o población que será objeto de la investigación. La muestra constituye una porción representativa de la población (López, 2004). Por lo tanto, la muestra elegida fue la calle establecida en un inicio el jr. Porvenir del distrito de Huancaray y provincia de Andahuaylas, la cual estuvo conformada por los 8 tramos; tramo I conformado de la prog 0+000 hasta 0+040, tramo II de la prog 0+040 hasta 0+080, tramo III de la prog 0+080 hasta 0+120, tramo IV de la prog 0+120 hasta 0+160, tramo V de la prog 0+160 hasta 0+200, tramo VI de la prog 0+200 hasta 0+240, tramo VII de la prog 0+240 hasta 0+280 y tramo VIII de la prog 0+280 hasta 0+320 que fueron evaluados para su posterior análisis.

El muestreo se emplea cuando los elementos de estudio son considerablemente extensos y ameritan emplear un método apropiado para la selección de las unidades de muestreo. La muestra debe ser escogida de manera cuidadosa por el investigador, de modo que represente de manera precisa las características de la población total y

mantenga una relación proporcional. La selección de una muestra adecuada es de gran importancia en la realización de investigaciones científicas. (Corral et al., 2015)

El muestreo no probabilístico por conveniencia se refiere a los elementos que se eligen de acuerdo con la conveniencia del investigador, esto le permite seleccionar de manera arbitraria cuántos participantes puede haber en el estudio (Hernández, 2021). Por lo anterior mencionado, la presente tiene un muestreo no probabilístico por conveniencia ya que el objeto de estudio no fue elegido al azar, por el contrario, fue elegido por conveniencia y disponibilidad para el investigador, ya que este cumple con características para ser estudiada y los criterios tanto de inclusión como de exclusión.

4.4 Instrumentos

Técnica utilizada es la observación, se utiliza para que el investigador se conecte con la realidad y pueda formarse una idea lo más precisa posible sobre el problema que está investigando (Useche et al., 2020). El instrumento empleado fue la hoja de registro de daños, este documento recopiló toda la información obtenida durante la observación directa, incluyendo la fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la unidad de tramo, tipos de fallas, niveles de severidad, cantidades, y los nombres del personal encargado de la inspección (Vergara, 2015). Del mismo modo se aplicó la viga de Benkelman con la cual se calcula las deflexiones en la vía de estudio. Por lo anterior señalado la presente investigación empleó la técnica de la observación y su instrumento de recopilación de datos es la hoja de registro de daños.

Continuando, el instrumento de recolección de datos se respaldó en la normativa internacional ASTM D6433-20, que establece el procedimiento para la aplicación del método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en carreteras y lotes de estacionamiento, así como en la ASTM D5340-20 para superficies aeroportuarias. Asimismo, cuenta con el reconocimiento del United States Army Corps of Engineers (TM 5-623) y la Federal Highway Administration (FHWA) como lineamientos oficiales en la gestión del mantenimiento vial. En el ámbito nacional, se enmarcó dentro de los criterios

del Manual de Carreteras del MTC del año 2014, lo cual garantizó la validez técnica y confiabilidad del instrumento aplicado.

4.5 Procedimientos

- Se delimitó claramente la sección del jirón Porvenir donde se realizó la evaluación del pavimento.
- Se preparan equipos y materiales, así como asegurar que los instrumentos de medición (cinta métrica, cámara, libreta de campo, GPS, etc.) y formularios de evaluación del ICP estén listos para su uso.
- Se cuenta con un equipo, se realizó una capacitación sobre los procedimientos de inspección visual y cómo registrar los datos de manera uniforme.
- Realización de la inspección visual del pavimento:
 - Identificar y registrar los tipos de deterioro (fisuras, baches, hundimientos).
 - Medir la extensión, severidad y localización de los defectos en la superficie del pavimento.
 - Tomar fotografías georreferenciadas que muestren el estado actual del pavimento.
- Registro de datos en los formularios de PCI, completar los formularios estandarizados con la información recopilada durante la inspección. Cada defecto fue ser registrado junto con su ubicación, tamaño y severidad.
- Georreferenciación de los puntos críticos, utilizando un GPS se marcó la ubicación exacta de los defectos más relevantes o de los puntos críticos del pavimento.
- Revisión de la consistencia de los datos, se verificó que los datos recolectados sean precisos y completos. Esto incluye la revisión de los formularios, las mediciones y las fotografías.
- Clasificación del pavimento según el método PCI, se utilizó las tablas y los criterios del Índice de Condición del Pavimento para calcular el valor del PCI basado en los datos recopilados.

- Almacenamiento y protección de los datos, se aseguró que los datos, tanto en formato físico como digital, estén organizados y resguardados de manera segura para evitar su pérdida o manipulación indebida.
- Análisis de los datos, se procesó y analizó los datos para obtener conclusiones sobre la condición del pavimento, identificando áreas que requieren intervención.
Para la evaluación estructural a través de la viga de Benkelman fueron:
 - Planificación y selección de puntos de medición
 - Determinar los tramos del jirón Porvenir donde se realizarán las mediciones.
 - Definir la cantidad de puntos de medición según normativas técnicas (por ejemplo, cada 50 m o en función de la variabilidad del pavimento).
 - Establecer las condiciones climáticas adecuadas para la medición (evitar lluvia y temperaturas extremas).
 - Preparación del equipo y del pavimento
 - Verificar el estado de la Viga Benkelman y el equipo de carga (camión de prueba con eje trasero simple o doble).
 - Calibrar la viga según las especificaciones del fabricante.
 - Limpiar la superficie del pavimento donde se realizarán las mediciones.
 - Ejecución de la prueba
 - Colocar la viga sobre el pavimento asegurando contacto adecuado con la superficie.
 - Aplicar la carga estática sobre el eje trasero del camión de prueba (carga recomendada según norma).
 - Medir la deflexión inicial y luego la deflexión final al retirar la carga.
 - Registrar los valores obtenidos en cada punto de medición.

4.6 Análisis de datos

Para la etapa estadística previamente se debe realizar el procedimiento de inspección a través del PCI, el cual comprende lo siguiente:

- Se inspecciona individualmente cada elemento de tramo elegida.
- Se identifica el tramo y número de sección, del mismo modo el número y tipo de unidad de tramo.
- Se registra el tamaño de unidad de tramo medido con el odómetro manual.
- Se realiza la inspección de las fallas identificando su tipo, cuantificando cada nivel de severidad y registrando la información conseguida.
- El método de medición ya se encuentra incluido en la descripción de cada falla.
- Repetir este procedimiento para cada unidad de tramo a ser inspeccionada.

Una vez concluida la etapa anterior se procede con los cálculos numéricos:

- Sumar la cantidad total de cada tipo de falla para cada nivel de severidad, y registrar esta información en la columna "Total de Severidades".
- Dividir la cantidad total de cada tipo de falla en cada nivel de severidad.
- De determina el valor deducido (DV) para cada combinación de tipo de falla y nivel de severidad utilizando las curvas de valor deducido de fallas.
- Determinar el máximo valor deducido corregido (CDV).
- Se determina el $PCI = 100 - CDV$

Para el análisis de datos de la prueba estructural se realizó lo siguiente:

- Análisis de resultados
- Comparar los valores de deflexión con los límites normativos establecidos en el Manual de Carreteras - Perú u otra normativa aplicable.
- Identificar si el pavimento presenta una buena, regular o mala capacidad estructural.
- Determinar si es necesario realizar mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción del pavimento.

4.7 Consideraciones éticas

En esta investigación, se han considerado cuidadosamente las cuestiones éticas para asegurar la integridad, validez y calidad de los resultados. En primer lugar, se ha

seguido el formato de citación APA en su versión 7 para garantizar el adecuado reconocimiento de todas las fuentes y el respeto por los derechos de autor de las ideas y conceptos utilizados. Además, se ha priorizado la precisión y veracidad en la recolección y análisis de los datos, asegurando que se gestionen de manera ética y transparente durante todo el proceso de investigación. Es fundamental destacar que, aunque la investigación no involucra la participación directa de seres humanos, se ha mantenido un enfoque responsable en el uso de los datos, protegiendo cualquier posible implicación para las partes interesadas, como las autoridades municipales y los encargados de la infraestructura. De esta forma, se garantiza que los resultados contribuyan de manera ética y objetiva a la mejora de las condiciones del pavimento sin comprometer los derechos ni intereses de ningún actor involucrado.

V. Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la evaluación estructural y funcional del pavimento rígido del Jirón Porvenir. La información recolectada mediante inspecciones visuales y ensayos de campo fue procesada y analizada con el propósito de determinar el estado actual del pavimento, identificar los tipos y niveles de severidad de las fallas existentes, así como evaluar el estado del pavimento frente a las cargas vehiculares que actúan sobre la vía. Asimismo, los resultados obtenidos permiten establecer criterios técnicos para la determinación del nivel de intervención requerido, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

La tabla 6 muestra los tipos de fallas que presenta en el PCI para pavimento rígido, según manual de daños en vías con superficie en concreto de cemento Portland:

Tabla 6

Tipos de fallas en superficie de concreto

Nro.	Código	Tipo
1	22	Grietas de esquina
2	23	Losa dividida
3	25	Escala
4	26	Daño del sello de la junta
5	27	Desnivel carril / berma
6	28	Grietas lineales (grietas longitudinales, transversales y diagonales)
7	29	Parche grande (mayor de 0.45 m ²)
8	30	Parche pequeño (menor de 0.45 m ²)
9	31	Pulimientos de agregados
10	32	Popouts
11	33	Bombeo
12	34	Punzonamiento
13	35	Cruce de vía férrea
14	36	Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado
15	37	Grietas de retracción
16	38	Descascaramiento de esquina
17	39	Descascaramiento de junta

Así mismo, la tabla 7 presenta el resumen de los tramos evaluados y sus respectivas progresivas:

Tabla 7

Resumen de tramos y progresivas.

Tramo	Progresiva
1	0+000 – 0+040
2	0+040 – 0+080
3	0+080 – 0+120
4	0+120 – 0+160
5	0+160 – 0+200
6	0+200 – 0+240
7	0+240 – 0+280
8	0+280 – 0+320

Nota. Elaboración propia.

La tabla 8 y figura 10 mostrada corresponde a la evaluación del PCI en el jirón Porvenir unidad de tramo 1 de la progresiva 0+000 al 0+040, con un análisis de los defectos o fallas encontradas en el pavimento. A continuación, se presenta una interpretación de los elementos principales de la evaluación, las grietas de esquina (22), se identificaron con severidad baja y moderada, afectando el 20% de la superficie. Losa dividida (23) afectan el 15% de la superficie, con mayor impacto en las losas de severidad moderada. Escalamiento (25), este es el tipo de falla más extendida, afectando el 40% de la superficie con severidad alta, lo que indica un desgaste considerable del pavimento.

Continuando, el daño del sello de la junta (26), es una falla menor en este tramo, con severidad baja y moderada afectando solo unas pocas losas. Grietas lineales (28), estas grietas afectan el 20% del área evaluada, con severidad moderada. Parche grande (29), afecta el 55% de la superficie total, siendo una de las fallas más extendidas junto con el escalamiento. Pulimiento de agregados (31), presenta un deterioro moderado en el 15% y severo en el 30%, lo que afecta la resistencia y el agarre del pavimento.

El valor deducido total es 146, lo que representa el nivel de deterioro acumulado del pavimento. Este número será utilizado para calcular el PCI final. El pavimento del jirón

Porvenir presenta un estado de deterioro significativo, con escalamiento y parches grandes como las fallas más predominantes, ambas afectando grandes porciones de la vía con severidad alta. Esto sugiere que el pavimento se encuentra en mal estado, requiriendo intervenciones correctivas urgentes.

La tabla 8 y la figura 10 presentan la evaluación del PCI en el Jirón Porvenir, tramo 1 (progresiva 0+000 al 0+040), identificando defectos como grietas de esquina, losa dividida, escalamiento, daño del sello de junta, grietas lineales, parches grandes y pulimiento de agregados. Las fallas más críticas fueron el escalamiento y los parches grandes, afectando más del 50% de la superficie. El valor deducido total fue 146, indicando un deterioro significativo que requiere intervención correctiva urgente.

Tabla 8

Hoja de registro de la unidad de tramo 1 de la progresiva 0+000 – 0+040

CÓ DIG O	SEV ERID AD	CANTIDADES PARCIALES POR PAÑOS O LOSAS																		TO TA L	DEN SIDA D %	VALOR DEDU CIDO (q)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				19
22	L							1	1												2	10%	8.00
22	M	1	1																		2	10%	15.50
23	L								1	1											2	10%	10.00
23	M																		1		1	5%	11.00
25	H	1	1	1	1	1	1	1	1	1											8	40%	51.00
26	L								1	1											2		2.00
26	M	1	1																		2		4.00
28	M	1											1		1		1				4	20%	14.50
29	L							1	1	1	1	1	1			1	1	1	1		10	50%	19.00
29	M												1								1	5%	3.00
31	M												1	1						1	3	15%	3.00
31	H	1	1								1					1	1			1	6	30%	5.00
TOTAL (Valor Deducido)																						= 146.00	

Figura 10

Fallas que presentan en el tramo 1 de la progresiva 0+000 – 0+040



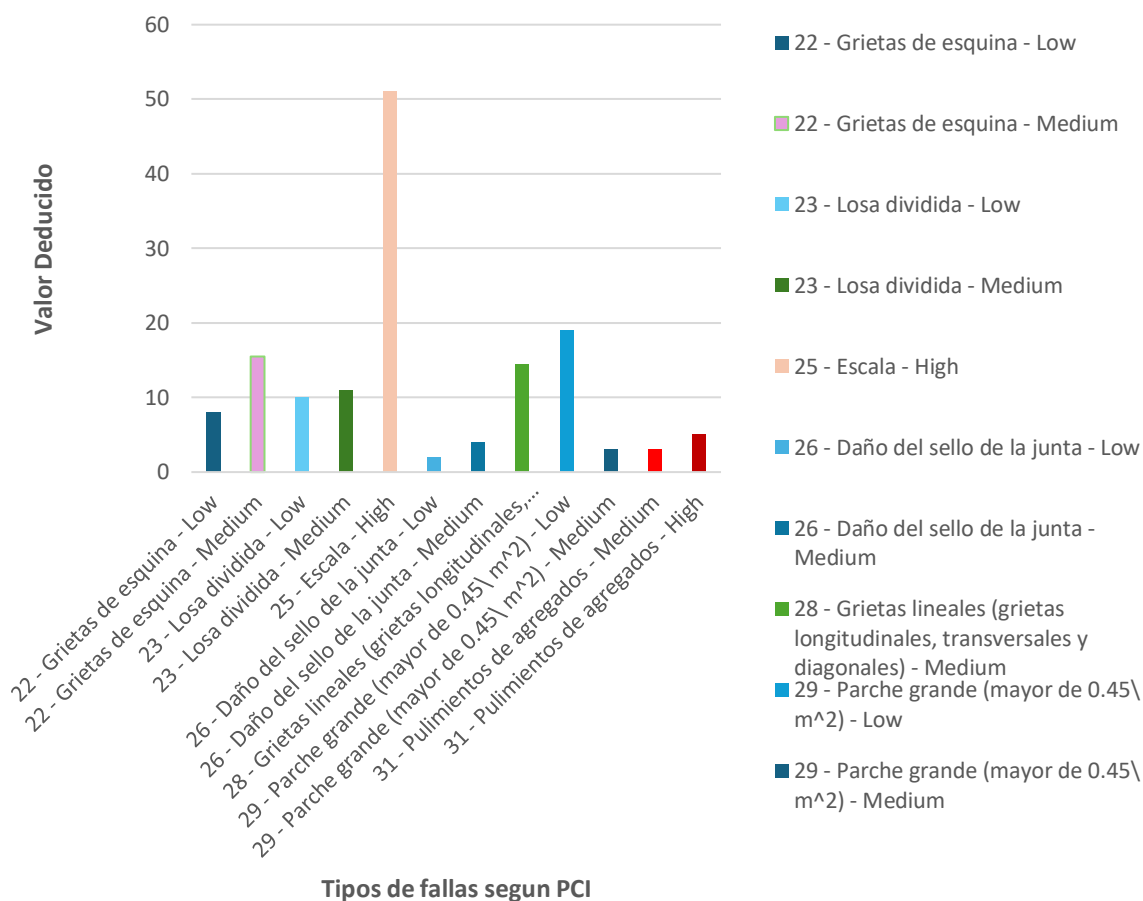
Nota. Fotografía de los investigadores midiendo la falla pulimento de agregados

La figura 11 muestra que durante la evaluación del pavimento se observó que las grietas de esquina presentaron valores deducidos de 8 en nivel bajo y 15.5 en nivel medio, lo que indicó una afectación moderada en las losas ubicadas en las esquinas. Las losas divididas mostraron valores de 10 en nivel bajo y 11 en nivel medio, reflejando una fragmentación progresiva del concreto. En cuanto a las fallas por escala, se obtuvo un valor elevado de 51 en nivel alto, evidenciando un deterioro severo de la superficie por desprendimiento de pequeñas escamas del concreto. El daño del sello de la junta presentó valores bajos de 2 y 4 para niveles bajo y medio respectivamente, lo que reveló un deterioro menor en las juntas del pavimento. Las grietas lineales, tanto longitudinales como transversales y diagonales, registraron un valor de 14.5 en nivel medio, señalando un grado de fisuración intermedio. Por su parte, los parches grandes mayores de 0.45 m² alcanzaron

valores de 19 en nivel bajo y 3 en nivel medio, lo que mostró intervenciones previas de reparación con un desgaste leve. Finalmente, los pulimientos de agregados evidenciaron valores de 3 en nivel medio y 5 en nivel alto, lo que indicó pérdida de textura superficial y reducción de la fricción en ciertas zonas del pavimento.

Figura 11

Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 1



En la tabla 9 se tomó el análisis donde el pavimento del área evaluada se encuentra en mal estado, con un PCI de 38, lo cual sugiere la necesidad de reparaciones significativas o incluso reemplazo de algunas secciones para mantener la seguridad y funcionalidad del pavimento. Asimismo, el valor deducido corregido (CDV) obtenido es de 62, lo cual evidencia la presencia de una falla significativa en el área evaluada. Este resultado indica que el tramo analizado presenta un deterioro importante, y que el valor deducido corregido máximo ($\text{maxCDV} = 62$) corresponde al sector con las condiciones más críticas dentro del pavimento. Un $\text{PCI} = 38$ constituye el índice final para la sección evaluada y refleja un

pavimento en la categoría “**Malo**”, lo cual evidencia un nivel de deterioro que compromete su condición funcional y anuncia el riesgo de fallas estructurales. En consecuencia, el tramo requiere una intervención inmediata para evitar la progresión del deterioro y garantizar la seguridad y operatividad de la vía.

A continuación, se presenta el cálculo del PCI del tramo 1:

Tabla 9

Cálculo del PCI de la unidad de tramo 1

N°	VALORES DEDUCIDOS						TOTAL	q	CDV
1	51.00	19.00	15.50	14.50	11.00	10.00	121.00	6	62
2	51.00	19.00	15.50	14.50	11.00	2.00	113.00	5	61
3	51.00	19.00	15.50	14.50	2.00	2.00	104.00	4	59
4	51.00	19.00	15.50	2.00	2.00	2.00	91.50	3	58.5
5	51.00	19.00	2.00	2.00	2.00	2.00	78.00	2	56.5
6	51.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	61.00	1	61
							MAX.CDV=		62
							PCI		38
							Rating		Malo

Continuando, se presenta la hoja de registro de las fallas existentes en la unidad de tramo número 2 de la progresiva 0+040 al 0+080 del jirón Provenir.

La tabla 10 y la figura 12 mostrada corresponde a la hoja de registro del tramo 2, comprendido entre las progresivas 0+040 y 0+080, mostró la presencia de diversas fallas estructurales y funcionales en el pavimento rígido, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Daños en Vías con Superficie en Concreto de Cemento Portland. Se identificaron principalmente grietas de esquina (código 22), daño del sello de junta (código 26), grietas lineales (código 28), parches grandes (código 29) y pulimiento de agregados (código 31), con distintos grados de severidad y densidades variables en el tramo.

Las grietas de esquina fueron una de las fallas más frecuentes, alcanzando una densidad del 45 % en nivel de severidad leve, con un valor deducido de 37.00, lo que evidenció un deterioro generalizado en las uniones de las losas por esfuerzos de flexión y

pérdidas de soporte en las esquinas. Asimismo, se presentaron daños en el sello de las juntas tanto en severidad leve como alta, con densidades del 35 %, generando valores deducidos de 14.00 y 44.00 respectivamente. También se observaron parches grandes en niveles de severidad media y alta, con densidades de hasta 40 %, lo que reveló intervenciones previas posiblemente realizadas para corregir deterioros antiguos, aunque sin una adecuada adherencia o compatibilidad de materiales.

En conjunto, el valor deducido total de 134.00 reflejó un nivel de deterioro elevado en la unidad de tramo, indicando que el pavimento presentaba una condición deficiente. La coexistencia de fallas estructurales y superficiales mostró que el concreto había perdido parte de su capacidad portante y de servicio, requiriendo la aplicación de medidas de mantenimiento correctivo o rehabilitación parcial para restablecer sus condiciones operativas y prevenir un deterioro acelerado del sector evaluado.

Tabla 10

Hoja de registro de la unidad de tramo 2 de la progresiva 0+040 – 0+080

CÓ DIG O	SEV ERID AD	CANTIDADES PARCIALES POR PAÑOS O LOSAS																		TO TA L	DEN SIDA D %	VALOR DEDU CIDO (q)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				19
22	L		1	1				1	1	1			1			1	1		1		9	45.00 %	37.00
22	L												1								1	5.00 %	2.00
23	L					1								1	1						3		2.00
23	M				1				1	1											3		4.00
25	M								1					1							2	10.00 %	8.00
26	L	1		1	1	1	1							1	1						7	35.00 %	14.00
26	H		1					1				1				1			1	1	7	35.00 %	44.00
28	L				1				1											1	3	15.00 %	2.00
29	M			1	1		1	1			1			1	1					1	8	40.00 %	6.00
29	H	1							1			1				1					4	20.00 %	4.00
31	M																			1	1	5.00 %	2.00
31	H																			1	1	5.00 %	9.00
TOTAL (Valor Deducido)												= 134.00											

Figura 12

Fallas que presentan en el tramo 2 de la progresiva 0+040 – 0+080



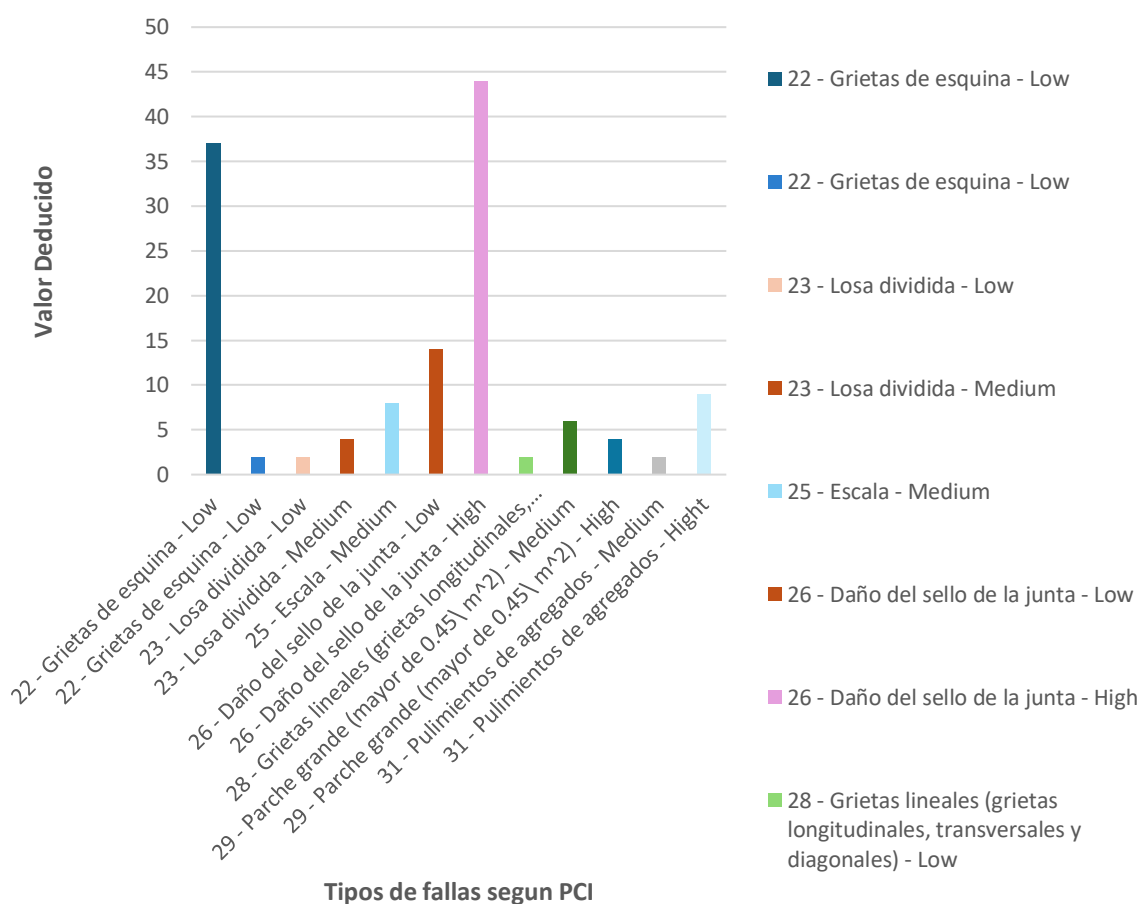
Nota. En la fotografía se visualiza las fallas daño del sello de junta y grietas de esquina.

En la figura 13 se muestra la evaluación del pavimento se determinó que las grietas de esquina presentaron deducidos de 37 y 2 en nivel bajo, lo que reflejó una variabilidad en la extensión valores del daño, con sectores donde la fisuración fue más evidente. Las losas divididas registraron valores de 2 en nivel bajo y 4 en nivel medio, indicando un grado leve de deterioro estructural con presencia de fisuras parciales. En cuanto a las fallas por escala, se obtuvo un valor de 8 en nivel medio, lo que evidenció desprendimientos moderados de material superficial. El daño del sello de la junta mostró valores de 14 en nivel bajo y 44 en nivel alto, lo que reveló que algunas juntas presentaron un desgaste considerable que comprometió la estanqueidad y la integridad del pavimento. Las grietas lineales, tanto longitudinales como transversales y diagonales, alcanzaron un valor de 2 en nivel bajo, lo que indicó un deterioro leve. Los parches grandes mayores de 0.45 m²

presentaron valores de 6 en nivel medio y 4 en nivel alto, lo que reflejó reparaciones anteriores con un grado de desgaste notable en algunas zonas. Finalmente, los pulimientos de agregados obtuvieron valores de 2 en nivel medio y 9 en nivel alto, lo que mostró una pérdida importante de textura superficial y una posible disminución en la adherencia de los neumáticos sobre la calzada.

Figura 13

Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 2



En la tabla 11 se pudo evidenciar que el valor obtenido del PCI fue de 36.5, lo que correspondió a una calificación de “malo”. Este resultado indicó que el pavimento evaluado presentaba un nivel de deterioro considerable, reflejado en la presencia de fallas múltiples y de severidad moderada a alta, que comprometían tanto su funcionalidad como su capacidad estructural. Los valores deducidos corregidos (CDV) alcanzaron un máximo de 63.5, evidenciando que las unidades de muestreo analizadas mostraban un patrón de degradación progresiva. Según los rangos establecidos por la norma ASTM D6433, un PCI

dentro de este intervalo revelaba que el pavimento ya no cumplía adecuadamente con las condiciones de servicio requeridas, afectando la comodidad y la seguridad del tránsito vehicular. En consecuencia, se determinó que la vía requería intervenciones de tipo correctivo, orientadas principalmente a la rehabilitación estructural, con el fin de restablecer su capacidad de soporte y prolongar su vida útil. El estado observado reflejaba la necesidad de acciones de mantenimiento más intensivas, pues el deterioro existente podía acelerarse si no se aplicaban medidas oportunas de conservación.

Así mismo, se presentan los cálculos realizados para hallar el valor PCI del tramo 2:

Tabla 11

Cálculo del PCI de la unidad de tramo 2

N°	VALORES DEDUCIDOS							TOTAL	q	CDV
1	44.00	37.00	14.00	9.00	8.00	6.00	0.56	118.56	6	61
2	44.00	37.00	14.00	9.00	8.00	2.00	0.56	114.56	5	61.5
3	44.00	37.00	14.00	9.00	2.00	2.00	0.56	108.56	4	61.5
4	44.00	37.00	14.00	2.00	2.00	2.00	0.56	101.56	3	63
5	44.00	37.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.56	89.56	2	63.5
6	44.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.56	54.56	1	54.56
								MAX.CDV=		63.5
								PCI		36.5
								Rating		Malo

En la tabla 12 y en la figura 14 se puede observar la unidad de tramo 3, correspondiente a la progresiva 0+080 – 0+120, se registró un conjunto de fallas que evidenciaron un deterioro estructural y superficial considerable en el pavimento rígido. De acuerdo con el Manual de Daños en Vías con Superficie en Concreto de Cemento Portland, las fallas más representativas fueron las losas divididas (código 23), el daño del sello de junta (código 26), el desnivel entre carril y berma (código 27), las grietas lineales (código

28), los parches grandes (código 29) y los pulimientos de agregados (código 31), cada una con diferentes grados de severidad y extensión.

Las losas divididas presentaron una densidad del 40 % con severidad leve y un valor deducido de 69.00, lo que constituyó la principal causa de deterioro. Este tipo de falla indicó la existencia de esfuerzos de tensión excesivos y deficiencias en la base o subrasante, que provocaron la fractura del concreto en una o varias direcciones. En segundo lugar, se identificaron grietas lineales con una densidad del 30 % y severidad media, generando un valor deducido de 20.00. Estas grietas evidenciaron procesos de fatiga estructural y contracción térmica del concreto.

El valor deducido total de 146.00 reflejó un estado de conservación deficiente, caracterizado por la combinación de fallas estructurales y funcionales que comprometieron la capacidad de soporte y la seguridad vial. En conjunto, el tramo mostró un deterioro avanzado que, de no ser atendido oportunamente, podría derivar en la pérdida completa de la capacidad de servicio del pavimento.

Tabla 12

Hoja de registro de la unidad de tramo 3 de la progresiva 0+080 – 0+120

CÓDIG O	SEV ERID AD	CANTIDADES PARCIALES POR PAÑOS O LOSAS																TO TA L	DEN SIDA D %	VALOR DEDU CIDO (q)			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				17	18	19
23	L		1		1	1		1	1				1					1	1		8	40.0 0%	69.00
26	M					1															1		4.00
27	H			1			1		1			1					1				5	25.0 0%	18.00
28	M				1				1	1			1		1		1		1		6	30.0 0%	20.00
29	L	1				1		1					1	1		1		1		1	7	35.0 0%	14.00
29	M				1				1	1											3	15.0 0%	8.00
31	L	1					1												1		3	15.0 0%	3.00
31	M							1				1	1	1		1					5	25.0 0%	4.00
31	H	1	1	1				1		1	1				1				1		8	40.0 0%	6.00
TOTAL (Valor Deducido)																						= 146.00	

Figura 14

Investigadores en la progresiva 0+080 – 0+120



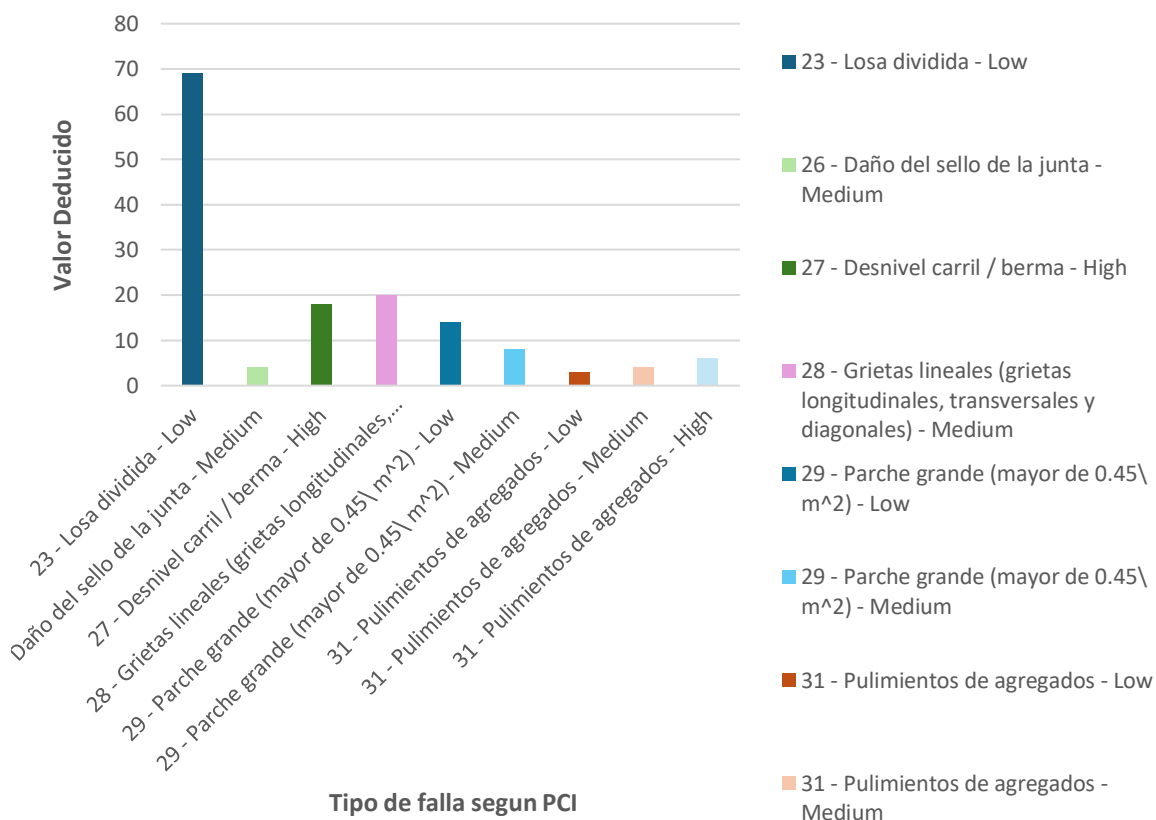
Nota. En la fotografía los investigadores miden las fallas desnivel de carril y también pulimento de agregados.

En la figura 15 se muestra que durante la evaluación del pavimento se observó que las losas divididas presentaron un valor deducido de 69 en nivel bajo, lo que indicó una amplia presencia de fisuras que afectaron la continuidad estructural del concreto, aunque sin representar un colapso total de las losas. El daño del sello de la junta mostró un valor de 4 en nivel medio, evidenciando un deterioro moderado que podría permitir la infiltración de agua y la pérdida de soporte en las juntas. El desnivel entre carril y berma alcanzó un valor alto de 18, reflejando una diferencia significativa en las cotas de la superficie, posiblemente causada por asentamientos o fallas en la base. Las grietas lineales, tanto longitudinales como transversales y diagonales, registraron un valor de 20 en nivel medio, lo que señaló una fisuración intermedia que afectó la uniformidad del pavimento. Los parches grandes mayores de 0.45 m² obtuvieron valores de 14 en nivel bajo y 8 en nivel medio, lo que indicó zonas previamente reparadas con signos de desgaste progresivo. Finalmente, los pulimientos de agregados presentaron valores de 3 en nivel bajo, 4 en nivel

medio y 6 en nivel alto, lo que evidenció pérdida de textura superficial en distintos grados, afectando la fricción y el comportamiento antideslizante de la calzada.

Figura 15

Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 3



En la tabla 13 el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) correspondiente a la unidad de tramo 3 arrojó un valor de 25, lo que situó al pavimento dentro de la categoría de “muy malo” según la clasificación establecida por la norma ASTM D6433. Este resultado reflejó un estado de conservación deficiente, caracterizado por la presencia de fallas estructurales y superficiales de alta severidad que comprometieron de manera significativa la funcionalidad y capacidad de soporte del pavimento rígido.

Los valores deducidos (q) más elevados correspondieron a las fallas con mayores densidades y severidades, destacando principalmente las losas divididas, las grietas lineales y el desnivel entre carril y berma, cuyos efectos acumulativos generaron un valor máximo de deducción corregido (CDV) de 75. Este nivel de deducción indicó que el pavimento presentaba un deterioro generalizado, con pérdida de integridad en las losas y

evidencias de fracturas extensas, asentamientos diferenciales y desgaste superficial avanzado.

El bajo valor del PCI demostró que el tramo se encontraba fuera de los rangos aceptables de servicio, por lo que ya no garantizaba condiciones adecuadas de seguridad, confort y durabilidad para el tránsito vehicular. En este contexto, se determinó que el pavimento requería una rehabilitación estructural integral, ya que las acciones de mantenimiento superficial resultarían insuficientes para restablecer su capacidad funcional. El estado observado evidenció un proceso de deterioro progresivo que, de no ser intervenido oportunamente, podría evolucionar hacia una condición de falla total del pavimento.

Tabla 13

Cálculo del PCI de la unidad de tramo 3

N°	VALORES DEDUCIDOS				TOTAL	q	CDV
1	69.00	20.00	18.00	11.90	118.90	4	67
2	69.00	20.00	18.00	2.00	109.00	3	68
3	69.00	20.00	2.00	2.00	93.00	2	65
4	69.00	2.00	2.00	2.00	75.00	1	75
					MAX.CDV=		75
					PCI		25
					Rating		Muy malo

En la tabla 14 y la figura 16 se puede observar el estado del pavimento en la unidad de tramo 4, del Jirón Porvenir revela una variedad de fallas que afectan su condición general. En el análisis de este tramo, se han identificado varios tipos de fallas con diferentes niveles de severidad. El valor deducido total (VD) es de 74.00, lo que refleja el grado de deterioro en la superficie del pavimento. A continuación, se describen los principales hallazgos como grietas de esquina (Código 22) se presentan con severidad media, registrando un total de 3 casos, que abarcan el 15% del tramo, con un valor deducido de 30.00. Losa dividida (Código 23) es una de las fallas más frecuentes.

En severidad baja, se observaron 5 casos, lo que representa el 25% del área, con un valor deducido de 24.00. En severidad media, se registraron 4 casos (20%) con un valor deducido de 36.00, mientras que, en severidad alta, solo se observó 1 caso (5%) con un valor deducido de 17.00.

Continuando, daño del sello de la junta (Código 26) aparece en severidad baja y media con 2 casos en cada categoría, aunque sin un porcentaje significativo del tramo, resultando en un valor deducido acumulado de 6.00. Desnivel carril/berma (Código 27) tiene solo 1 caso en severidad alta, lo que representa el 5% del área, con un valor deducido de 4.00. Grietas lineales (Código 28) con severidad media son otra falla notable, con 7 casos, cubriendo el 35% del tramo, con un valor deducido de 17.00. Parche grande (Código 29) en severidad baja es una de las fallas más extendidas, con 8 casos que cubren el 40% del área, y un valor deducido de 16.00.

En severidad media, se observan 2 casos (10%) con un valor de 6.00. Pulimiento de agregados (Código 31) aparece en severidades baja, media y alta, con valores deducidos menores, 1 caso en severidad baja (5%, valor 2.00), 4 casos en severidad media (20%, valor 4.00) y 1 caso en severidad alta (5%, valor 2.00). Concluyendo que, el pavimento presenta una variedad de fallas de distinta severidad, con las grietas de esquina, losas divididas y grietas lineales como los problemas más frecuentes y significativos. Aunque el total de fallas indica un desgaste considerable, algunas áreas muestran mayor afectación que otras.

El pavimento evaluado presenta una variedad de fallas con distintos niveles de severidad. Las más frecuentes incluyen grietas de esquina, losas divididas y grietas lineales, afectando áreas significativas. El parche grande y el pulimiento de agregados también muestran alta incidencia, reflejando desgaste superficial y reparaciones extensas. Aunque algunas fallas tienen valores deducidos bajos, el acumulado total evidencia un deterioro considerable. Este diagnóstico sugiere la necesidad de implementar medidas de mantenimiento correctivo para evitar el agravamiento de las condiciones estructurales del pavimento.

Se presenta la hoja de registro de las fallas existentes en la unidad de tramo número 4 de la progresiva 0+120 al 0+160 del jirón Provenir:

Tabla 14

Hoja de registro de la unidad de tramo 4 de la progresiva 0+120 – 0+160

CÓ DIG O	SEV ERID AD	CANTIDADES PARCIALES POR PAÑOS O LOSAS																		TO TA L	DEN SIDA D %	VALOR DEDU CIDO (q)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				19
22	M									0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	3	15%	30.00
23	L	1					1	1		1			1								5	25%	24.00
23	M		1												1				1	1	4	20%	36.00
23	H																	1			1	5%	17.00
26	L					1		1													2		2.00
26	M												1	1							2		4.00
27	H																		1		1	5%	4.00
28	M			1	1	1			1			1			1					1	7	35%	17.00
29	L	1		1		1							1		1		1		1	1	8	40%	16.00
29	M								1		1										2	10%	6.00
31	L										1										1	5%	2.00
31	M				1				1					1					1		4	20%	4.00
31	H	1																			1	5%	2.00
TOTAL (Valor Deducido)												= 74.00											

En la tabla 14 las grietas de esquina, losas divididas y grietas lineales destacan como los problemas más frecuentes, afectando áreas significativas. El parche grande y el pulimiento de agregados también muestran alta incidencia, con valores deducidos que evidencian reparaciones extensas y pérdida de textura superficial. Aunque algunas fallas presentan valores bajos, el acumulado total indica un deterioro considerable. Además, se identificaron daños en el sello de la junta y desniveles entre carril y berma, aunque con menor impacto. Este diagnóstico sugiere la necesidad de implementar medidas de mantenimiento correctivo y preventivo para evitar el agravamiento de las condiciones estructurales del pavimento. El pavimento evaluado presenta una variedad de fallas con distintos niveles de severidad, reflejando un desgaste progresivo en varias zonas.

Figura 16

Imagen en el tramo 4 correspondiente a la progresiva 0+120 – 0+160



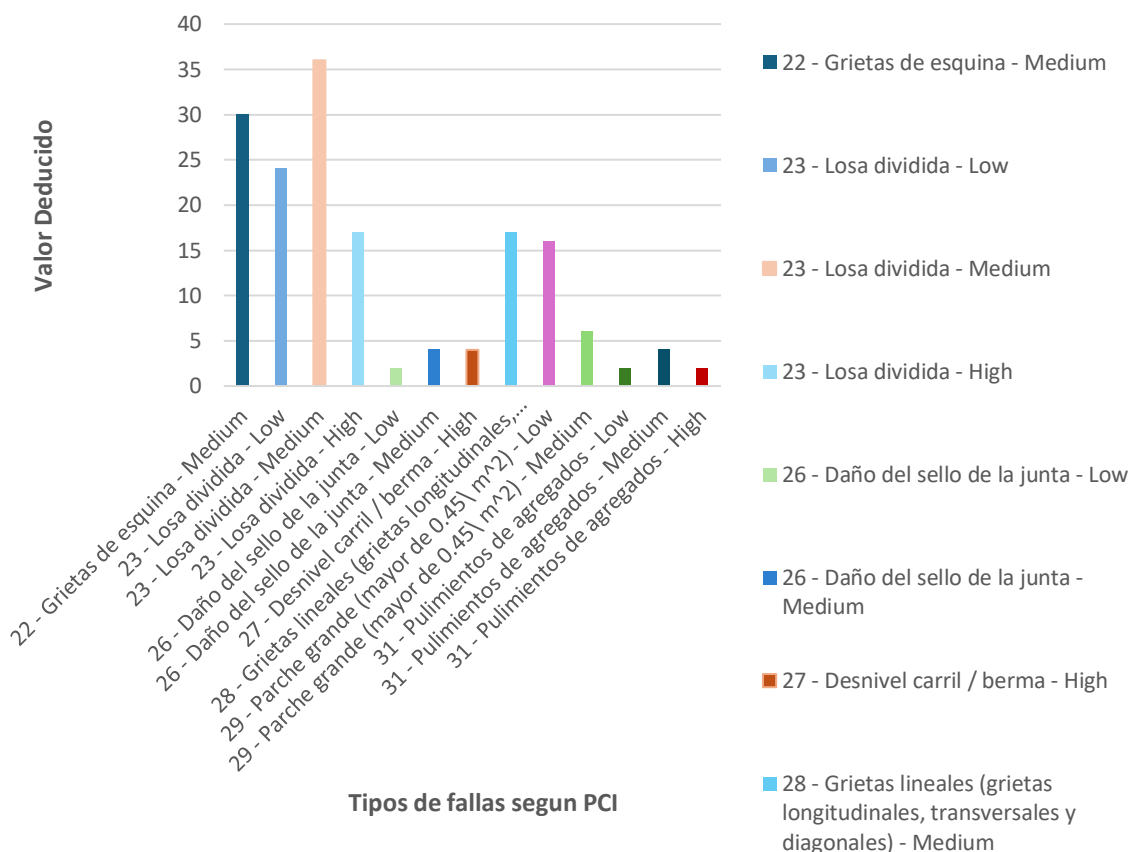
Nota. En esta fotografía se mide las fallas losa dividida, desnivel de carril y polimento de agregado.

En la figura 17 se muestra que durante el análisis del pavimento se determinó que las grietas de esquina presentaron un valor deducido de 30 en nivel medio, lo que evidenció un daño moderado en las esquinas de las losas, posiblemente asociado a la acción de cargas repetitivas o deficiencias en el soporte. Las losas divididas registraron valores de 24 en nivel bajo, 36 en nivel medio y 17 en nivel alto, lo que indicó diferentes grados de fisuración y fragmentación del concreto, siendo más frecuente un deterioro intermedio con sectores más afectados. El daño del sello de la junta obtuvo valores de 2 en nivel bajo y 4 en nivel medio, reflejando un desgaste leve a moderado en las juntas, con posibles filtraciones superficiales de agua. El desnivel entre carril y berma alcanzó un valor de 4 en nivel alto, lo que sugirió una diferencia apreciable en el nivel del pavimento, posiblemente producto de asentamientos desiguales. Las grietas lineales, tanto longitudinales como

transversales y diagonales, mostraron un valor de 17 en nivel medio, evidenciando una fisuración continua que afectó la regularidad superficial. Los parches grandes mayores de 0.45 m² presentaron valores de 16 en nivel bajo y 6 en nivel medio, lo que reveló intervenciones previas con desgaste progresivo. Finalmente, los pulimientos de agregados registraron valores de 2 en nivel bajo, 4 en nivel medio y 2 en nivel alto, lo que reflejó la pérdida de textura en distintos sectores, afectando la adherencia y seguridad del pavimento.

Figura 17

Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 4



En la tabla 15 el estado del pavimento evaluado en la unidad de tramo un PCI de 33.00, lo que lo clasifica en un estado malo. Este cálculo se basa en una serie de valores deducidos que reflejan las diferentes condiciones de deterioro observadas. A continuación, se presenta un resumen de los resultados clave, en la primera fila, los valores deducidos alcanzan un total de 133.00, con una cantidad de defectos visibles (CDV) de 65, lo que muestra una alta cantidad de daño en la superficie. Este patrón se mantiene en la segunda

fila, donde el total es de 131.00 y la CDV es de 67. A medida que avanzamos, en la tercera fila, el total baja a 127.00 con una CDV de 67, lo que refleja un deterioro menos marcado.

Sin embargo, en la sexta fila, el total baja aún más a 76.00 y la CDV a 55.5. En la séptima fila, se observa el menor total, 48.00, con una CDV (valor deducido corregido) de 48, lo que representa la parte menos dañada del pavimento evaluado. El maxCDV (máximo valor deducido corregido) registrado fue de 67.00, lo que refleja la presencia de daños graves en algunas zonas del pavimento. El índice PCI de 33.00 clasifica el estado general de la superficie como malo, indicando la necesidad de reparaciones significativas.

Tabla 15

Cálculo del PCI de la unidad de tramo 4

N°	VALORES DEDUCIDOS								TOTAL	q	CDV	
1	36.00	30.00	24.00	17.00	16.00	6.00	4.00	36.00	133.00	7	65	
2	36.00	30.00	24.00	17.00	16.00	6.00	2.00	36.00	131.00	6	67	
3	36.00	30.00	24.00	17.00	16.00	2.00	2.00	36.00	127.00	5	67	
4	36.00	30.00	24.00	17.00	2.00	2.00	2.00	36.00	113.00	4	63.7	
5	36.00	30.00	24.00	2.00	2.00	2.00	2.00	36.00	98.00	3	61.7	
6	36.00	30.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	36.00	76.00	2	55.5	
7	36.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	36.00	48.00	1	48	
8	36.00	30.00	24.00	17.00	16.00	6.00	4.00	36.00	133.00	7	65	
									MAX.CDV=	67.00		
									PCI	33.00		
									Rating	Malo		

En la tabla 16 y en la figura 18 se evidencia que el estado del pavimento de la vía Jirón Porvenir, en la unidad de tramo 5, revela un deterioro significativo según el cálculo del PCI. El análisis se basa en diversas fallas observadas y categorizadas según su severidad y porcentaje de afectación, lo cual permite cuantificar el daño total en el pavimento. A continuación, se detalla la interpretación, se detectaron grietas de esquina de severidad leve y moderada, con una cantidad total de 3 fallas, ocupando un 5.00% y 10.00% de la superficie respectivamente. Estas grietas contribuyen con 4.30 y 17.10 puntos

al valor deducido (q), reflejando un impacto moderado en el deterioro total. La losa dividida presenta 1 falla de severidad leve, afectando el 5.00% del área y aportando un valor deducido de 7.00. Además, la severidad moderada y alta representan 15.00% y 10.00% de afectación, respectivamente, con 3 fallas moderadas que suman 28.00 al valor deducido, y 2 fallas graves, sumando 31.00. Estos aportan valores deducidos de 2.50 y 2.00 puntos, lo que indica que los parches son visibles, pero no dominantes. En conjunto, el valor deducido total es de 135.90, lo que indica un pavimento con múltiples daños de diversas severidades que requieren mantenimiento y reparación para evitar un mayor deterioro.

Asimismo, se presenta la hoja de registro de las fallas existentes de la unidad de tramo número 5 de la progresiva 0+160 al 0+200:

Tabla 16

Hoja de registro de la unidad de tramo 5 de la progresiva 0+160 – 0+200

CÓ DIG O	SEV ERID AD	CANTIDADES PARCIALES POR PAÑOS O LOSAS																		TO TA L	DEN SIDA D %	VALOR DEDU CIDO (q)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				19	20
22	L							1													1	5%	4.30	
22	M											1		1							2	10%	17.10	
23	L							1													1	5%	7.00	
23	M		1								1	1									3	15%	28.00	
23	H														1	1					2	10%	31.00	
25	M			1	1															1	1	4	20%	4.00
25	H												1	1							2	10%	8.00	
28	L							1													1	5%	3.00	
28	M	1				1	1					1	1								5	25%	19.00	
29	M													1							1	5%	2.50	
30	M													1							1	5%	2.00	
31	L			1																	1	5%	2.00	
31	M				1															1	2	10%	4.00	
31	H	1													1						2	10%	4.00	
TOTAL (Valor Deducido)											= 135.90													

Figura 18

Deterioro del pavimento en el tramo 5 en la prog. 0+160 – 0+200.



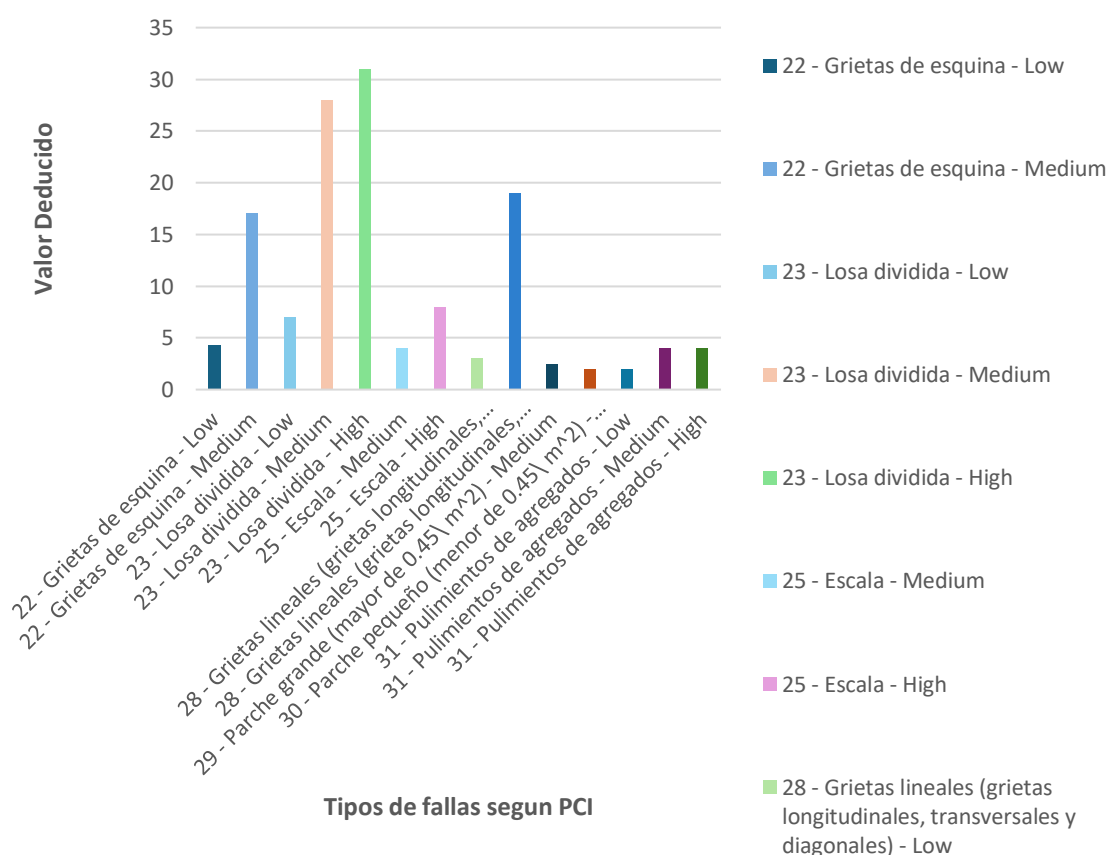
Nota. En la fotografía se está midiendo las fallas de losa dividida, escala y pulimento de agregado.

La figura 19 evidencia que durante la evaluación del pavimento se observó que las grietas de esquina presentaron valores deducidos de 4.3 en nivel bajo y 17.1 en nivel medio, lo que indicó un deterioro leve a moderado en las zonas angulares de las losas, posiblemente originado por la concentración de esfuerzos o deficiencias en la transferencia de carga. Las losas divididas registraron valores de 7 en nivel bajo, 28 en nivel medio y 31 en nivel alto, evidenciando un daño progresivo con sectores donde la fragmentación del concreto fue considerable. Las fallas por escala mostraron valores de 4 en nivel medio y 8 en nivel alto, lo que reveló desprendimientos superficiales del concreto, asociados al envejecimiento del material o a la acción climática. Las grietas lineales, tanto longitudinales como transversales y diagonales, presentaron valores de 3 en nivel bajo y 19 en nivel medio, lo que reflejó una fisuración continua que comprometió parcialmente la uniformidad

estructural del pavimento. Los parches grandes mayores de 0.45 m^2 obtuvieron un valor de 2.5 en nivel medio, mientras que los parches pequeños menores de 0.45 m^2 alcanzaron un valor de 2 en el mismo nivel, evidenciando intervenciones previas con un deterioro controlado. Finalmente, los pulimientos de agregados registraron valores de 2 en nivel bajo, 4 en nivel medio y 4 en nivel alto, lo que señaló una pérdida progresiva de textura superficial y de capacidad antideslizante en diversas áreas de la calzada.

Figura 19

Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 5



En la tabla 17 se observa que el estado del pavimento, evaluado mediante el cálculo del PCI en la unidad del tramo, revela que el pavimento se encuentra en condiciones deterioradas, con un PCI final de 37 y una clasificación general de "Malo". A continuación, se ofrece una interpretación de los datos, en la primera muestra, el pavimento obtuvo un valor deducido total de 111.40, con un valor deducido corregido (CDV) de 55. Este valor refleja un deterioro importante, con varios tipos de fallas acumuladas que abarcan grietas y otros defectos. En la segunda muestra, el valor deducido bajó a 109.40, con un CDV de

56, lo que sigue indicando un deterioro significativo en la estructura del pavimento. A medida que se examinan más unidades de tramo, los valores deducidos siguen disminuyendo gradualmente.

En la tercera unidad, se registra un valor deducido de 107.10 y un CDV de 61. Aquí, aunque el CDV mejora, aún persisten problemas estructurales notables. En la cuarta muestra, se observan defectos moderados en el pavimento. La sexta unidad presenta un valor deducido de 69.00 y un CDV de 51, lo que refleja un pavimento en peor estado con una mayor acumulación de defectos. En resumen, el análisis del PCI muestra que el pavimento del jirón Porvenir se encuentra en condiciones malas, con valores deducidos que oscilan entre 43.00 y 111.40. El pavimento ha sufrido un deterioro progresivo y requiere reparaciones importantes para evitar un mayor daño estructural.

Tabla 17

Cálculo del PCI de la unidad de tramo 5

Nº	VALORES DEDUCIDOS								TOTAL	q	CDV
1	31.00	28.00	19.00	17.10	8.00	4.30	4.00	111.40	7	55	
2	31.00	28.00	19.00	17.10	8.00	4.30	2.00	109.40	6	56	
3	31.00	28.00	19.00	17.10	8.00	2.00	2.00	107.10	5	61	
4	31.00	28.00	19.00	17.10	2.00	2.00	2.00	101.10	4	63	
5	31.00	28.00	19.00	2.00	2.00	2.00	2.00	86.00	3	59	
6	31.00	28.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	69.00	2	51	
7	31.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	43.00	1	42	
									MAX.CDV=	63.00	
									PCI	37.00	
									Rating	Malo	

En la tabla 18 y la figura 20 se puede evidenciar que en el análisis del estado del pavimento de la vía Jirón Porvenir, evaluado en una unidad de tramo que abarca del prog. inicial 0+200 al prog. final 0+240, se identificaron diversas fallas en la superficie de la vía. El valor deducido total para esta sección fue de 146.00, lo que refleja un deterioro significativo en el pavimento. A continuación, se detallan los principales tipos de fallas y su severidad, grietas de esquina (Código 22), se observaron dos niveles de severidad.

Una grieta de severidad media con una densidad del 5% y un valor deducido de 9.00, y una grieta de severidad alta también con un 5% de densidad y un valor deducido de 12.00. Estas grietas sugieren una pérdida de integridad en los bordes del pavimento. Losa dividida (Código 23), se encontraron fallas de severidad media y alta. En el caso de la severidad media, se identificaron 3 losas afectadas con una densidad del 15% y un valor deducido de 28.00.

Para la severidad alta, hubo una losa afectada con una densidad del 5% y un valor deducido de 19.00. Daño del sello de la junta (Código 26), se reportó una falla de severidad media, con una losa afectada, una densidad del 5%, y un valor deducido de 4.00, lo que indica que el sellado de las juntas entre losas se ha deteriorado. Grietas lineales (Código 28), esta falla fue una de las más extendidas, con un total de 9 losas afectadas, presentando una densidad del 45% y un valor deducido de 29.00. Estas grietas incluyen grietas longitudinales, transversales y diagonales, lo que implica una propagación significativa de las fisuras a lo largo del pavimento. Parche grande (Código 29), se identificaron 4 losas con parches grandes, de los cuales 3 presentaban severidad media con una densidad del 5% y un valor deducido de 4.00, mientras que una presentaba severidad alta, con una densidad del 20% y un valor deducido de 30.00. Pulimiento de agregados (Código 31), se observaron dos niveles de severidad, leve y media. En severidad leve, lo que implica que se requiere una intervención urgente para corregir las fallas observadas. Las grietas lineales y los parches grandes de severidad alta son especialmente preocupantes, ya que afectan la funcionalidad y durabilidad del pavimento.

El pavimento presenta fallas como grietas lineales, parches grandes y pulimiento de agregados, con severidades que van de baja a alta. Las grietas lineales afectan el 45% del área, mientras que los parches grandes y el pulimiento muestran desgaste significativo. Estos daños comprometen la funcionalidad del pavimento, evidenciando la necesidad de mantenimiento urgente para evitar un deterioro estructural mayor.

En alusión al tramo 6 de la progresiva 0+200 al 0+240, se presenta la hoja de registro de las fallas existentes:

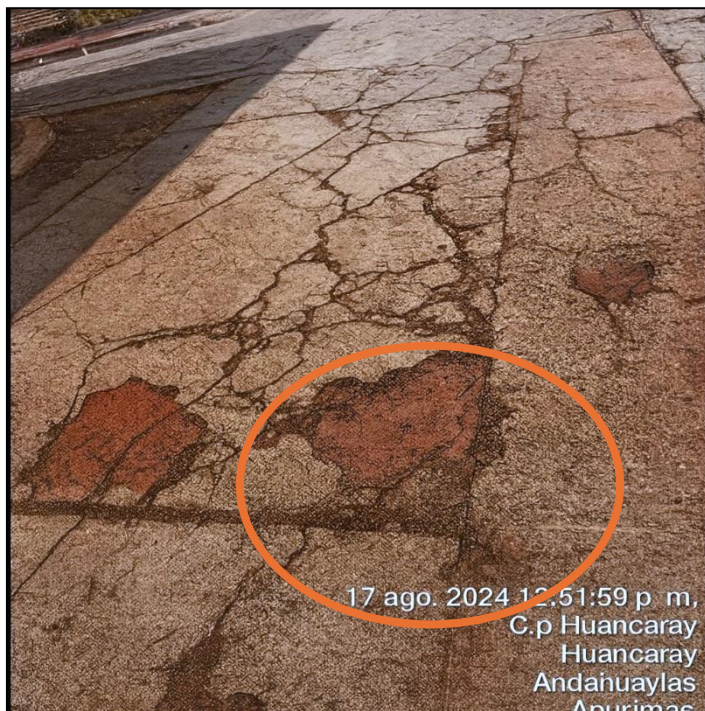
Tabla 18

Hoja de registro de la unidad de tramo 6 de la progresiva 0+200 – 0+240

CÓ DIG O	SEVE RIDA D	CANTIDADES PARCIALES POR PAÑOS O LOSAS														TO TA L	DEN SID AD %	VAL OR DED UCID O (g)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				15	16	17	18	19	20		
22	M											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	5%	9.00
22	H								1															1	5%	12.00
23	M	1					1														1			3	15%	28.00
23	H							1																1	5%	19.00
26	M								1															1	5%	4.00
28	M					1		1	1	1	1	1	1				1	1	1					9	45%	29.00
29	M								1															1	5%	4.00
29	H		1		1															1	1			4	20%	30.00
31	L									1							1							2	10%	3.00
31	M	1	1		1	1	1		1						1					1				8	40.00%	8.00
TOTAL (Valor Deducido)																								= 146.00		

Figura 20

Fallas en la a la progresiva 0+200 – 0+240

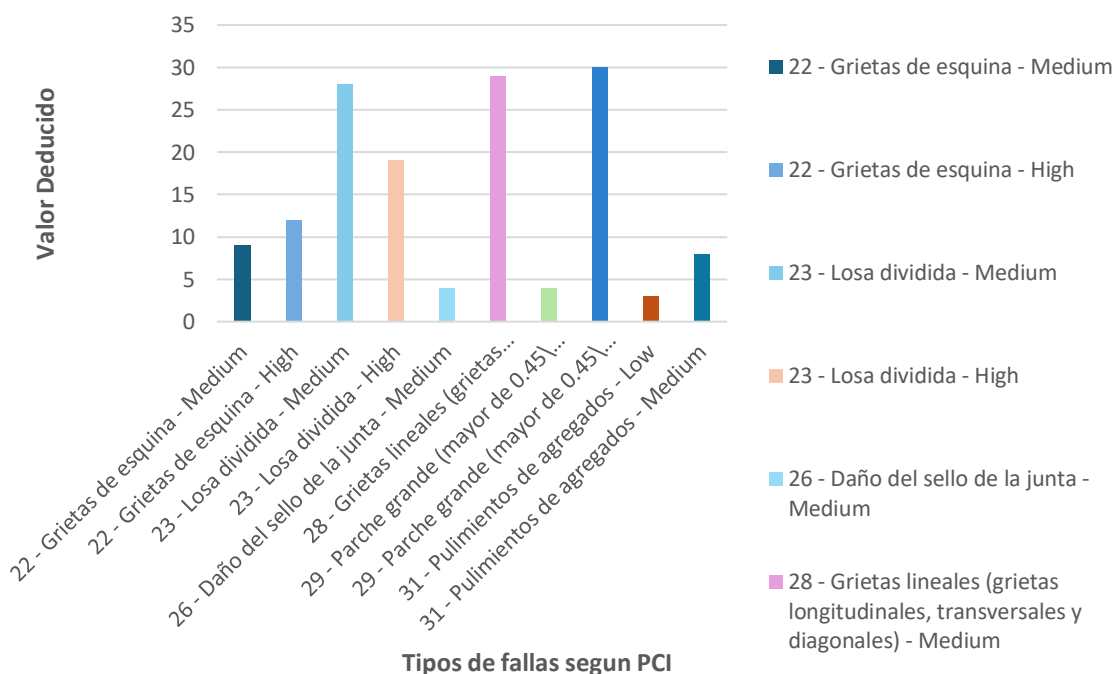


Nota. La fotografía muestra las fallas de grietas de esquina y parche grande.

La figura 21 muestra que durante la evaluación del pavimento se determinó que las grietas de esquina presentaron valores deducidos de 9 en nivel medio y 12 en nivel alto, lo que reflejó un daño considerable en las esquinas de las losas, posiblemente causado por esfuerzos repetitivos o por fallas en el soporte de la base. Las losas divididas registraron valores de 28 en nivel medio y 19 en nivel alto, evidenciando una fragmentación importante del concreto que afectó la integridad estructural del pavimento. El daño del sello de la junta presentó un valor de 4 en nivel medio, lo que indicó un deterioro moderado de las juntas, susceptible a permitir la filtración de agua y el ingreso de materiales extraños. Las grietas lineales, tanto longitudinales como transversales y diagonales, alcanzaron un valor de 29 en nivel medio, lo que señaló una fisuración extendida que comprometió la uniformidad de la superficie. Finalmente, los pulvimientos de agregados obtuvieron valores de 3 en nivel bajo y 8 en nivel medio, lo que indicó una pérdida progresiva de la textura superficial y una disminución parcial de la fricción del pavimento.

Figura 21

Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 6



En la tabla 19 se pudo evidenciar que, en la evaluación del estado del pavimento de la unidad de tramo, se llevó a cabo el cálculo del PCI y se obtuvieron los siguientes

resultados detallados, en el primer segmento, el valor deducido total fue de 135.00, y el valor máximo del coeficiente de deducción de valores (CDV) alcanzó 68.75, lo que indica un deterioro significativo del pavimento. La densidad y severidad de las fallas observadas son considerables. En el segundo segmento, el valor deducido fue de 129.00, con un CDV de 66.05. Aunque el deterioro es ligeramente menor.

En el tercer segmento, el valor deducido bajó a 122.00, con un CDV de 60.50. A medida que avanza el análisis de la unidad de tramo, se observa una tendencia a la disminución en la deducción, aunque sigue indicando una condición deficiente. En el cuarto segmento, el valor deducido fue de 112.00, con un CDV de 58.00, lo que muestra una leve mejora en las condiciones, pero sigue siendo preocupante. En resumen, el PCI final es de 31.25, lo que clasifica el estado del pavimento como "Malo", el pavimento presenta un deterioro considerable a lo largo de toda la unidad de tramo, lo que requiere intervenciones correctivas para mejorar su condición.

Tabla 19

Cálculo del PCI de la unidad de tramo 6

N°	VALORES DEDUCIDOS								TOTAL	q	CDV
1	30.00	29.00	28.00	19.00	12.00	9.00	8.00	135.00	7	68.75	
2	30.00	29.00	28.00	19.00	12.00	9.00	2.00	129.00	6	66.05	
3	30.00	29.00	28.00	19.00	12.00	2.00	2.00	122.00	5	60.5	
4	30.00	29.00	28.00	19.00	2.00	2.00	2.00	112.00	4	58	
5	30.00	29.00	28.00	2.00	2.00	2.00	2.00	95.00	3	60.2	
6	30.00	29.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	69.00	2	50	
7	30.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	42.00	1	26	
								MAX.CDV=		68.75	
								PCI		31.25	
								Rating		Malo	

En la tabla 20 y en la figura 22 del tramo 7, está comprendida entre las progresivas 0+240 y 0+280, se identificó un conjunto de fallas que reflejaron un deterioro progresivo del pavimento rígido tanto en el aspecto estructural como en el funcional. De acuerdo con el Manual de Daños en Vías con Superficie en Concreto de Cemento Portland, las fallas más recurrentes correspondieron a las grietas de esquina (código 22), las losas divididas (código 23), el daño del sello de junta (código 26), las grietas lineales (código 28), los parches grandes (código 29) y el pulimiento de agregados (código 31), presentando distintas severidades y extensiones a lo largo del tramo evaluado.

Las grietas lineales en severidad media fueron las más representativas, con una densidad del 65 % y un valor deducido de 32.00. Este tipo de falla evidenció la aparición de fisuras longitudinales y transversales generadas por tensiones internas debidas a contracciones térmicas, retracción del concreto o cargas repetidas del tránsito. Las grietas de esquina, con una densidad del 30 % y severidad media, alcanzaron un valor deducido de 39.00, lo que indicó pérdida de soporte en las esquinas de las losas y esfuerzos concentrados que propiciaron la fisuración por flexión.

Las losas divididas, tanto en severidad leve como media, presentaron densidades de 15 % y 5 %, con valores deducidos de 17.00 y 11.00 respectivamente. Estas fracturas revelaron debilitamiento del concreto, posiblemente por deficiencias en la base o asentamientos diferenciales. Asimismo, los parches grandes en severidad alta, con una densidad del 10 % y un valor deducido de 18.00, evidenciaron intervenciones previas que no lograron restituir adecuadamente las condiciones iniciales del pavimento. El valor deducido total de 127.00 representó un deterioro elevado, característico de un pavimento en condición deficiente. La combinación de fallas estructurales y superficiales indicó que el tramo había alcanzado un nivel de degradación avanzado, afectando su capacidad de soporte y la seguridad del tránsito. Con respecto al tramo 7 de la progresiva 0+240 al 0+280, se presenta la hoja de registro de las fallas existentes:

Tabla 20

Hoja de registro de la unidad de tramo 7 de la progresiva 0+240 – 0+280

CÓ DIG O	SEVE RIDA D	CANTIDADES PARCIALES POR PAÑOS O LOSAS																		TO TA L	DEN SID AD %	VAL OR DED UCID O (g)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				19
22	M					1	1			1	1			1					1		6	30.0 0%	39.0 0
23	L	1	1										1								3	15.0 0%	17.0 0
23	M															1					1	5.00 %	11.00
26	L					1	1														2	10.0 0%	2.00
28	M		1					1	1	1	1			1	1	1	1	1	1		13	65.0 0%	32.0 0
29	H	1	1																		2	10.0 0%	18.0 0
31	M			1	1			1	1					1				1	1	1	8	40.0 0%	8.00
TOTAL (Valor Deducido)																						= 127.00	

Figura 22

Deterioro de la vía en la progresiva 0+240 – 0+280

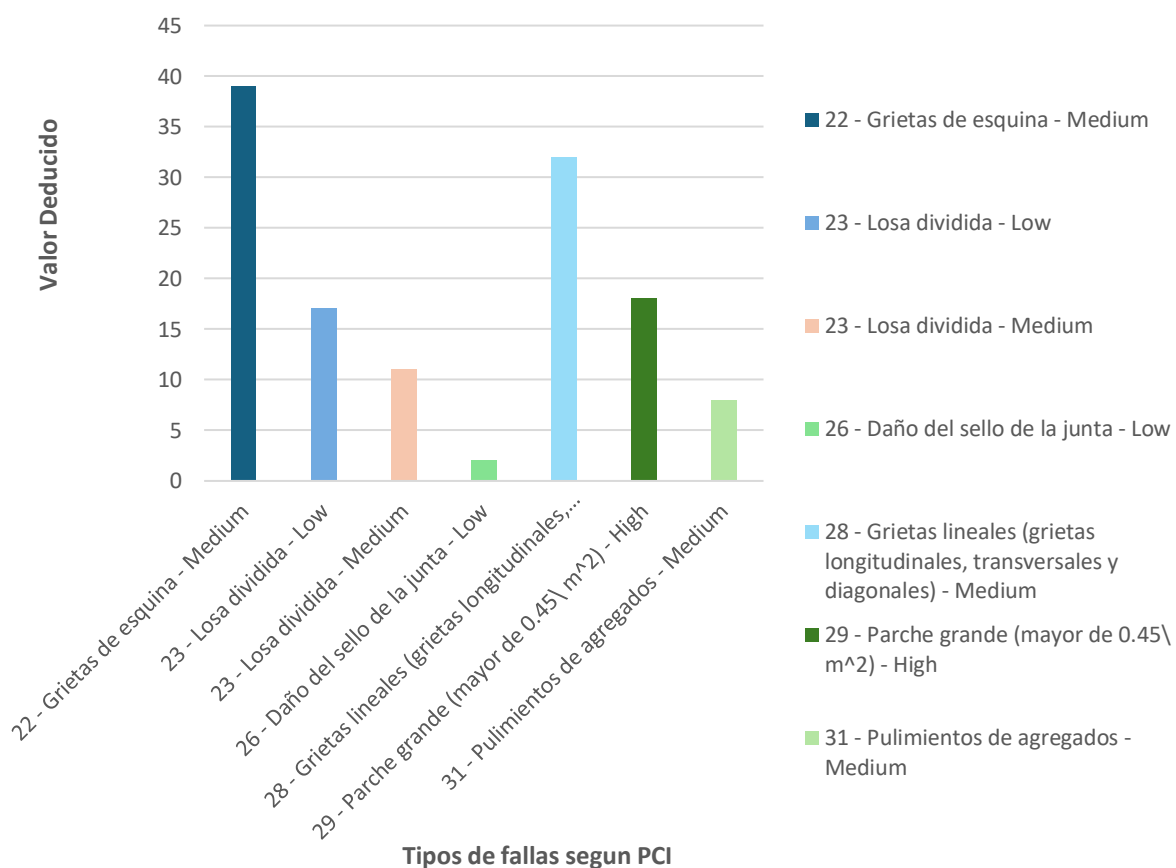


Nota. Esta fotografía se visualiza el deterioro de la vía con fallas parche grande y losa dividida.

En la figura 23 se muestra que durante la evaluación del pavimento se observó que las grietas de esquina presentaron un valor deducido de 39 en nivel medio, lo que evidenció un deterioro notable en las zonas angulares de las losas, asociado principalmente a esfuerzos repetitivos y pérdida de soporte en los bordes. Las losas divididas registraron valores de 17 en nivel bajo y 11 en nivel medio, lo que indicó un daño leve a moderado caracterizado por fisuras parciales sin separación completa del concreto. El daño del sello de la junta obtuvo un valor de 2 en nivel bajo, lo que reflejó un desgaste mínimo sin afectación estructural significativa. Las grietas lineales, tanto longitudinales como transversales y diagonales, alcanzaron un valor de 32 en nivel medio, lo que mostró una fisuración extendida que alteró la uniformidad de la superficie. Finalmente, los pulimientos de agregados registraron un valor de 8 en nivel medio, lo que señaló una disminución moderada de la textura superficial y de la capacidad antideslizante del pavimento.

Figura 23

Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 7



En la tabla 21 se pudo observar que el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) de la unidad de tramo 7 resultó en un valor de 35.8, lo que ubicó al pavimento en la categoría de “malo”, según la clasificación establecida por la norma ASTM D6433. Este resultado evidenció un estado de deterioro avanzado, con la presencia de múltiples tipos de fallas que afectaron tanto la funcionalidad superficial como la capacidad estructural del pavimento.

La reducción del PCI en comparación con los valores óptimos mostró que las fallas ya no se limitaban a daños superficiales, sino que comprometían el desempeño estructural del tramo. En consecuencia, se interpretó que el pavimento requería acciones de rehabilitación mayor o reconstrucción parcial, puesto que las intervenciones de mantenimiento rutinario no serían suficientes para restituir sus condiciones de servicio. Este estado “malo” indicó la necesidad de una evaluación técnica más detallada para definir el tipo de intervención que garantice la prolongación de su vida útil y la recuperación de su capacidad funcional.

Tabla 21

Cálculo del PCI de la unidad de tramo 7

N°	VALORES DEDUCIDOS						TOTAL	q	CDV
1	39.00	32.00	18.00	17.00	11.00	8.00	6	30.00%	39.00
2	39.00	32.00	18.00	17.00	11.00	2.00	3	15.00%	17.00
3	39.00	32.00	18.00	17.00	2.00	2.00	1	5.00%	11.00
4	39.00	32.00	18.00	2.00	2.00	2.00	2	10.00%	2.00
5	39.00	32.00	2.00	2.00	2.00	2.00	13	65.00%	32.00
6	39.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2	10.00%	18.00
							MAX.CDV=		64.20
							PCI		35.8
							Rating		Malo

En la tabla 22 y en la figura 24 se pudo visualizar que la evaluación del PCI que corresponde al tramo 8, comprendido entre los puntos 0+280 y 0+320, ha puesto de

manifiesto diversos problemas en el pavimento. El tramo que cubre un área de 8, revela una serie de fallas que afectan su estado general. Se identificaron principalmente grietas lineales (código 28), con una severidad media, en 11 ubicaciones. Además, se detectaron parches grandes (código 29), también con severidad media, en 7 ubicaciones. Los pulimientos de agregados (código 31) presentan una severidad que varía entre media y alta, con un total de 9 incidencias. El total del valor deducido para estas fallas es de 117.00, lo que indica que el pavimento se encuentra en una condición "Regular". Este estado sugiere que el pavimento presenta un nivel moderado de deterioro y que es necesario realizar acciones de mantenimiento para mejorar su estado y prolongar su durabilidad.

Relativo al tramo 8 de la progresiva 0+280 al 0+320, se presenta la hoja de registro de las fallas existentes:

Tabla 22

Hoja de registro de la unidad de tramo 8 de la progresiva 0+280 – 0+320

CÓDIGO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES POR PAÑOS O LOSAS																		TOTAL	DESDA %	VALOR DEDUCIDO (q)				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				19	20	21	22
23	M	1	1						1			1	1					1	1	1		1	1	10	45 %	56.00
28	M	1		1	1	1	1	1	1	1					1	1					1			11	50 %	28.00
29	M			1								1	1		1				1	1	1			7	31 %	23.00
31	M		1		1		1		1			1		1										6	27 %	7.00
31	H	1												1	1									3	13 %	3.00
													TOTAL (Valor Deducido)					= 117.00								

Figura 24

Fallas en la progresiva 0+280 – 0+320

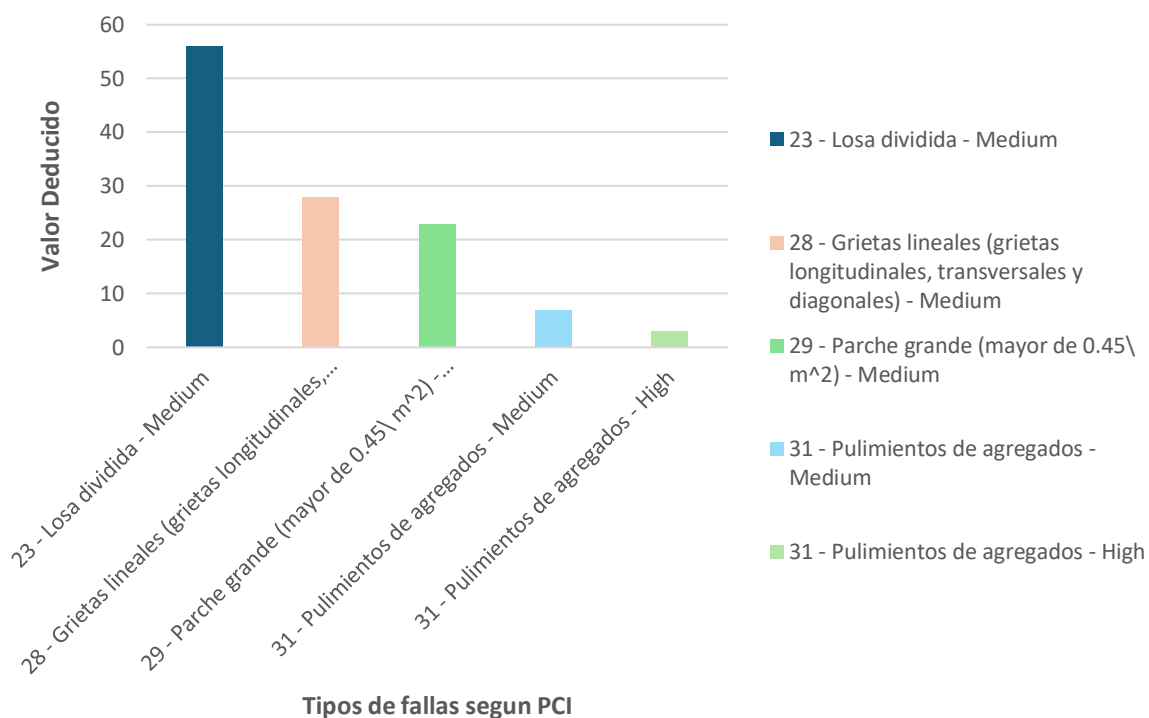


Nota. en la fotografía se muestra las fallas parche grande, losa dividida y grietas lineales.

La figura 25 muestra que durante la evaluación del pavimento se determinó que las losas divididas presentaron un valor deducido de 56 en nivel medio, lo que reflejó un deterioro significativo del concreto, caracterizado por fisuras múltiples que comprometieron la estabilidad estructural del pavimento. Las grietas lineales, tanto longitudinales como transversales y diagonales, alcanzaron un valor de 28 en nivel medio, evidenciando una fisuración moderada que afectó la continuidad y apariencia superficial de la calzada. Los parches grandes mayores de 0.45 m² registraron un valor de 23 en nivel medio, lo que indicó intervenciones previas con signos visibles de desgaste y ligera pérdida de adherencia en las zonas reparadas. Finalmente, los pulimientos de agregados mostraron valores de 7 en nivel medio y 3 en nivel alto, lo que señaló una pérdida de textura superficial progresiva que redujo parcialmente la fricción y, por tanto, la seguridad al tránsito vehicular.

Figura 25

Histograma por tipo de falla de valores deducido del tramo 8



En la tabla 23 se pudo revelar que la evaluación del PCI para la unidad de tramo un estado general deficiente. El PCI promedio calculado es de 30.95, lo que se clasifica como "Malo". Esto sugiere que el pavimento presenta un alto nivel de deterioro y requiere reparaciones significativas. En detalle, el análisis revela lo siguiente, primera unidad de tramo esta sección tiene el valor más alto en la evaluación con un total de 117.00 y un PCI de 64. Aunque es el mejor resultado entre las muestras, aún está en la categoría de "Malo". Segunda unidad de tramo con un total de 116.00 y un PCI de 35.88, esta sección muestra una condición peor que la primera, a pesar de que los valores deducidos son similares.

Tercera unidad de tramo esta muestra un total de 111.00 y el PCI más alto de 69.05. Aunque es relativamente mejor, el PCI aún indica una condición deficiente. Cuarta unidad de tramo con un total de 90.00 y un PCI de 64.5, esta sección presenta un deterioro significativo, aunque algo mejor en comparación con las dos últimas muestras. Quinta unidad de tramo la sección con el total más bajo de 64.00 y un PCI de 64 indica el peor estado entre las muestras evaluadas. Finalmente, el pavimento en la unidad de tramo se

encuentra en una condición "Mala". Los resultados indican que el pavimento está bastante deteriorado y necesita una atención urgente para su reparación y mantenimiento, a fin de mejorar su estado y asegurar su funcionalidad a largo plazo.

Tabla 23

Cálculo del PCI de la unidad de tramo 8

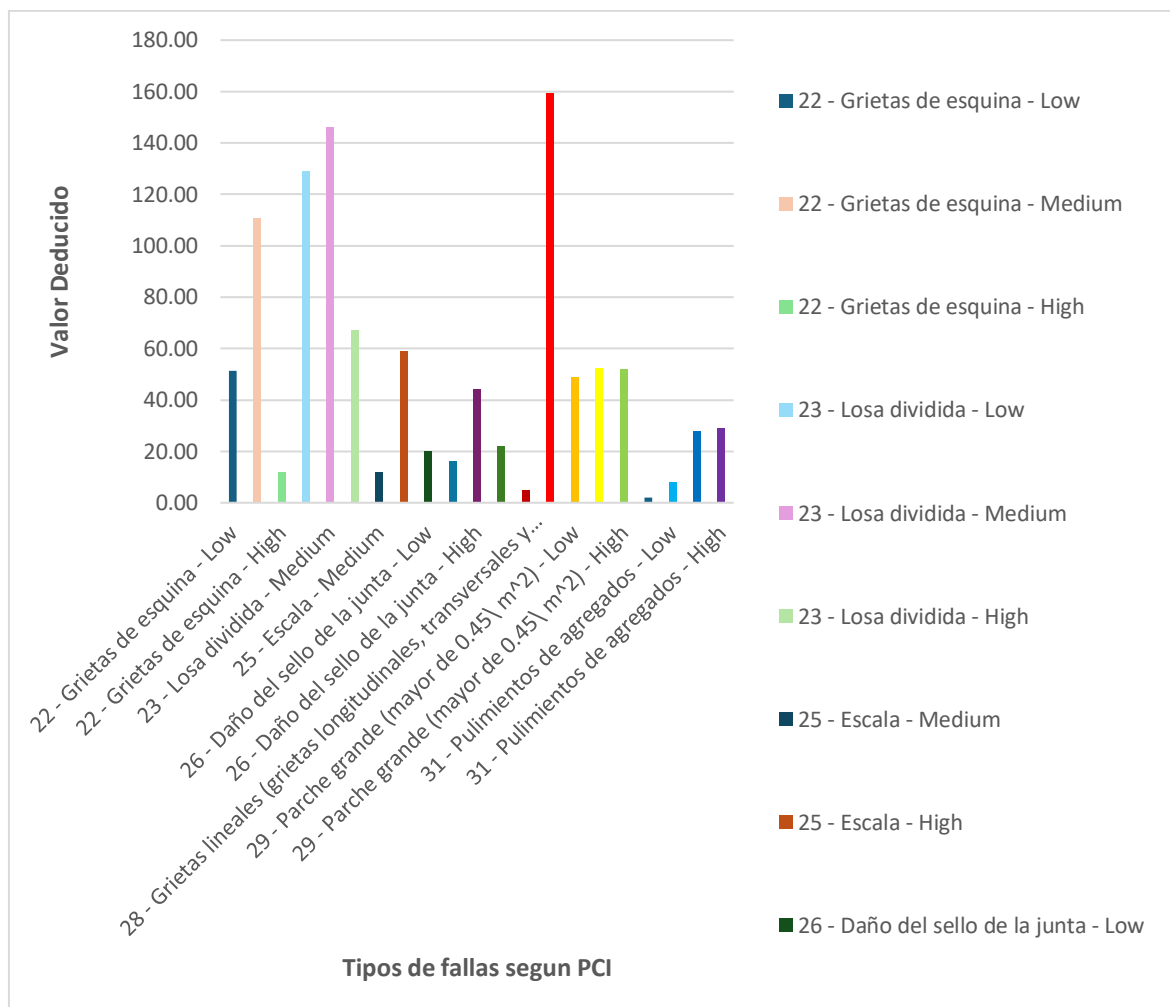
N°	VALORES DEDUCIDOS					TOTAL	q	CDV
1	56.00	28.00	23.00	7.00	3.00	117.00	5	64
2	56.00	28.00	23.00	7.00	2.00	116.00	4	35.88
3	56.00	28.00	23.00	2.00	2.00	111.00	3	69.05
4	56.00	28.00	2.00	2.00	2.00	90.00	2	64.5
5	56.00	2.00	2.00	2.00	2.00	64.00	1	64
						MAX.CDV=		69.05
						PCI		30.95
						Rating		Malo

En la figura 26 se muestra que los datos consolidados reflejaron el peso total, o Valor Deducido Total, asignado a cada tipo de deterioro del pavimento, clasificado según su severidad (Low, Medium o High), basándose en la suma de las observaciones registradas. El deterioro con la mayor carga de deducción fue Grietas lineales (código 28) en severidad Medium, la cual acumuló un total de 159.5. Este fue seguido de cerca por la Losa dividida (código 23) en severidad Medium, que sumó 146. En contraste, la Losa dividida en severidad Low fue el tercer fallo con mayor carga al totalizar 129. Los fallos de Grietas de esquina (código 22) en severidad Medium también representaron una alta penalización, alcanzando un valor total de 110.6. Las reparaciones (parches) grandes y los daños superficiales se distribuyeron de la siguiente manera: el Parche grande (código 29) en sus severidades Medium y High obtuvieron valores similares, de 52.5 y 52 respectivamente, mientras que la Escala (código 25) en severidad High registró un valor de 59. Finalmente, los deterioros de menor impacto total fueron el Parche pequeño (código 30) en severidad Medium, con solo 2, y las Grietas lineales en severidad Low, con un valor de 5. Los Pulimientos de agregados (código 31) sumaron 29 para severidad High y 28 para

severidad Medium, mostrando que la afectación superficial por pulimento tuvo un peso considerable. El Daño del sello de la junta (código 26) en severidad High presentó una deducción total de 44.

Figura 26

Histograma agrupado por tipo de falla de los 8 tramos evaluados.



Referido al objetivo general, evaluar el pavimento rígido en el jirón Porvenir aplicando el método Índice de Condición del Pavimento del distrito de Huancaray. A continuación, se observa un resumen de los valores PCI de los diferentes tramos.

La tabla 24 muestra la evaluación del pavimento del jirón Porvenir en donde se realizó utilizando varias unidades de tramo, y los resultados evidencian una condición general del pavimento que se clasifica como "Malo", con un promedio del PCI de 33.43. Este valor refleja un estado de deterioro en el pavimento a lo largo de la vía. Este valor de PCI sugiere que la condición general del pavimento en la vía es moderadamente

deteriorada. Aunque hay algunas secciones en condiciones relativamente buenas, la mayoría muestra un nivel significativo de desgaste. Es recomendable implementar un plan de mantenimiento y reparación para abordar las áreas en mal estado y mejorar la condición general del pavimento a lo largo de la vía.

Tabla 24

Resumen del promedio de valores PCI de la vía evaluada

Progresiva	VALOR PCI	RATING
00+000 - 00+040	38	Malo
00+040 - 00+080	36.5	Malo
00+080 - 00+120	25	Muy malo
00+120 - 00+160	33	Malo
00+160 - 00+200	37	Malo
00+200 - 00+240	31.25	Malo
00+240 - 00+280	35.8	Malo
00+280 - 00+320	30.95	Malo
Promedio PCI	33.43	Malo

En lo que respecta a los **resultados del primer objetivo específico**, se determinó los tipos de fallas existentes a través del método Índice de Condición del Pavimento en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray.

En la tabla 25 se evidencia el análisis del estado del pavimento realizado a través de las diferentes unidades de tramo, se identificaron varias fallas significativas. Las observaciones de las fallas y su distribución en las unidades de tramo fueron las siguientes, las grietas de esquina (Código 22) se presentaron en las unidades de tramo 1, 5, 6, 7 y 8. Estas grietas se localizaron en las esquinas de las losas, lo que surgió un desgaste importante en estas áreas, posiblemente causado por cargas repetitivas o por la falta de soporte adecuado en las esquinas. La losa dividida (Código 23) apareció en todas las unidades de tramo (1 a 8). Este tipo de falla implicó que las losas estaban completamente fracturadas, lo que indicaba una degradación estructural severa en todo el pavimento evaluado. La escala (Código 25) se observó en las unidades de tramo 1, 2 y 3. Esto sugirió

que en esas áreas se había producido el desprendimiento de la capa superior del concreto, lo que generaba una superficie rugosa. El daño del sello de la junta (Código 26) estuvo presente en las unidades 1, 2, 3, 4, 6 y 8. Este daño implicaba que el material de sellado entre las juntas de las losas había fallado, lo que podría permitir la infiltración de agua y provocar un mayor deterioro del pavimento.

El desnivel entre carril y berma (Código 27) apareció en las unidades de tramo 3 y 4. Este desnivel indicaba un hundimiento o levantamiento del pavimento, lo que podría generar problemas de seguridad para los usuarios. Las grietas lineales (Código 28) se observaron en todas las unidades de tramo (1 a 8). Estas grietas, que se extendían a lo largo de las losas, eran un signo de fatiga y probablemente se debían a cargas repetidas o movimientos del terreno. El parche grande (mayor de 0.45 m²) (Código 29) también estuvo presente en todas las unidades de tramo, lo que indicó que se realizaron reparaciones de gran tamaño en múltiples áreas del pavimento, sugiriendo una necesidad constante de mantenimiento debido a fallas recurrentes.

El parche pequeño (menor de 0.45 m²) (Código 30) se encontró únicamente en la unidad de tramo 5, lo que indicó que en esta área se había reparado una pequeña sección del pavimento, probablemente debido a una falla localizada. El pulimiento de agregados (Código 31) se presentó en todas las unidades de tramo (1 a 8), lo que implicaba que la superficie del pavimento se había desgastado, exponiendo los agregados y reduciendo la fricción, lo que podría generar problemas de seguridad, especialmente en condiciones húmedas.

El descascaramiento de junta (Código 39) se observó solo en la unidad de tramo 2. Este tipo de descascaramiento indicaba que las juntas entre las losas se estaban deteriorando, lo que comprometía la durabilidad del pavimento en esa área. Así mismo, el pavimento presentó una variedad de fallas significativas y generalizadas, como losas divididas, grietas lineales y parches grandes. Esto sugirió que la estructura estaba en un estado de deterioro avanzado y requería intervenciones de mantenimiento extensivas. La

repetición de ciertos tipos de fallas en todas o casi todas las unidades de tramo destacaba problemas estructurales y de durabilidad que afectaban al pavimento en su conjunto.

Tabla 25

Resumen de los tipos de fallas en las diferentes unidades de tramo

Nro.	Código de falla	Tipo de falla	Unidad de tramo							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	22	Grietas de esquina	x			x	x	x	x	
2	23	Losa dividida	x	x	x	x	x	x	x	x
3	25	Escala	x	x						
4	26	Daño del sello de la junta	x	x	x	x		x	x	
5	27	Desnivel carril / berma			x	x				
6	28	Grietas lineales	x	x	x	x	x	x	x	x
7	29	Parche grande (mayor de 0.45 m2)	x	x	x	x	x	x	x	x
8	30	Parche pequeño (menor de 0.45 m2)					x			
9	31	Pulimientos de agregados	x	x	x	x	x	x	x	x
10	32	Popouts								
11	33	Bombeo								
12	34	Punzonamiento								
13	35	Cruce de vía férrea								
14	36	Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado								
15	37	Grietas de retracción								
16	38	Descascaramiento de esquina								
17	39	Descascaramiento de junta		x						

En alusión al **segundo objetivo específico**, se determinó la severidad de las fallas encontradas en la superficie a través el método Índice de Condición del Pavimento en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray. En la tabla 26, se observó que, en la evaluación de la severidad de las fallas identificadas en el pavimento a través de las diferentes unidades de tramo, se evidenció Grietas de esquina (Código 22), la severidad de esta falla varió entre niveles bajos (L), medios (M) y altos (H). En la unidad de tramo 1, se detectó una combinación de severidad baja y media. En las unidades 5 y 7, la severidad fue media y

alta, respectivamente. En las unidades 6 y 8, se registraron niveles medios y altos, lo que indica que el daño es significativo en algunas zonas y requiere atención prioritaria. Losas divididas (Código 23) con severidad de esta falla también variable. En la mayoría de las unidades (1, 2, 3 y 7), las losas divididas se clasificaron como de severidad baja (L) o media (M). Sin embargo, en las unidades 4, 5 y 6, se registró una combinación de severidad media y alta (H), lo que sugiere que en estas áreas la fractura de las losas es más pronunciada y necesita reparaciones urgentes.

Escala (Código 25), las unidades de tramo 1 y 2, la severidad de esta falla varió de alta (H) en la primera unidad a baja (L) en la segunda. Esto refleja un desgaste considerable en ciertas áreas, lo que podría afectar la seguridad y la calidad del pavimento. Daño del sello de la junta (Código 26), las unidades de tramo 1, 2 y 4, se observó una severidad baja y media (L, M), mientras que en la unidad 6 la severidad fue baja. En las unidades 3 y 8, la severidad fue media, lo que implica que el sellado de las juntas ha sido afectado de manera moderada, lo cual podría permitir la infiltración de agua y acelerar el deterioro. Desnivel entre carril y berma (Código 27), se registró una severidad alta (H) en las unidades de tramo 3 y 4, lo que indica un desnivel considerable entre el carril y la berma, representando un riesgo significativo para la circulación segura de los vehículos.

Grietas lineales (Código 28), la severidad de las grietas lineales fue predominantemente media (M) en todas las unidades de tramo, excepto en la unidad 5, donde varió entre baja y media (L, M). Esto indica una afectación moderada a lo largo del pavimento, lo que podría empeorar si no se toman medidas correctivas.

Pulimiento de agregados (Código 31), en todas las unidades de tramo, esta falla mostró severidad media y alta (M, H), con un rango de baja a alta en algunas unidades (2, 3, 4, 5 y 6). Esto indica que el desgaste del pavimento ha dejado expuestos los agregados, reduciendo la fricción y aumentando el riesgo de accidentes, especialmente en condiciones húmedas. Descascaramiento de junta (Código 39), se observó en la unidad de tramo 2 con una severidad media y alta (M, H), lo que indica un daño significativo en las juntas, lo cual podría comprometer la integridad del pavimento. En conclusión, las fallas presentaron

variaciones de severidad, predominando niveles medios y altos en las grietas de esquina, losas divididas, parches grandes y el pulimientado de agregados. Las áreas con severidad alta requieren intervenciones inmediatas para evitar un deterioro mayor del pavimento y garantizar la seguridad en su uso.

Tabla 26

Severidad de fallas en las diferentes unidades de tramo

Nro.	Código de falla	Tipo de falla	Unidad de tramo								
			1	2	3	4	5	6	7	8	
1	22	Grietas de esquina	L, M				M	L, M	M, H	M	
2	23	Losa dividida	L, M	L	L		L, M, H	L, M, H	M, H	L, M	M
3	25	Escala	H	L							
4	26	Daño del sello de la junta	L, M	L	M		L, M		M	L	
5	27	Desnivel carril / berma				H	H				
6	28	Grietas lineales	M	M	M	M		L, M	M	M	M
7	29	Parche grande (mayor de 0.45 m ²)	L, M	L, M	L, M	L, M		M	M, H	M, H	M
8	30	Parche pequeño (menor de 0.45 m ²)						M			
9	31	Pulimientados de agregados	M, H	L, M, H	L, M, H		H	L, M, H	L, M	M	M, H
10	32	Popouts									
11	33	Bombeo									
12	34	Punzonamiento									
13	35	Cruce de vía férrea									
14	36	Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado									
15	37	Grietas de retracción									
16	38	Descascaramiento de esquina									
17	39	Descascaramiento de junta		M, H							

Con respecto al **tercer objetivo específico**, se determinó el estado del pavimento a través de la medición de deflexiones con el método de la Viga Benkelman en tramos donde se encuentra en nivel de base, en el jirón Porvenir del distrito de Huancaray.

En la tabla 27 y figura 27 se observa que en la evaluación realizada con la viga Benkelman, las lecturas obtenidas en campo de cada progresiva mostraron variaciones en la respuesta estructural del pavimento tras el retiro de la carga. En la progresiva 0+000, la diferencia entre la lectura inicial y la final indicó una deflexión de 1,7 mm (sin factor de corrección) , lo que reflejó un comportamiento estructural aceptable. En la progresiva 0+080, la deflexión fue de 1,6 mm, evidenciando también un buen soporte estructural. Sin embargo, en las progresivas 0+160 y 0+240, se registraron deflexiones de 4,0 mm, valor que evidencio una disminución considerable de la capacidad portante y la necesidad de una intervención estructural. En la progresiva 0+320, se registró una deflexión de 3,0 mm, lo que reflejo un deterioro significativo la conveniencia de aplicar un refuerzo estructural. Estos resultados mostraron que el tramo evaluado presentó sectores con buen desempeño y otras con fallas estructurales notorias, por lo que la intervención debía ser diferenciada según la magnitud de la deflexión registrada en cada progresiva.

A continuación, se detallan los datos recopilados en la libreta de campo:

Tabla 27

Datos recopilados en la libreta de campo de los diferentes tramos

Progresiva (Km)	Carril	DISTANCIA DEL CENTRO DE CARGA				
		A los: 0 cm	A los: 25 cm	A los: 50 cm	A los: 100 cm	A los: > 100 cm
0 + 000	D	200	195	192	190	183
0 + 080	D	200	197	189	187	184
0 + 160	D	200	194	190	178	160
0 + 240	D	200	191	189	186	160
0 + 320	D	200	188	185	182	170

Figura 27

Lectura de datos en campo con la Viga Benkelman.



Nota. En la fotografía se muestra la lectura de datos de campo con la Viga Benkelman en la prog. 0+240

En la tabla 28 se muestra el análisis del cálculo de las deflexiones medidas en $\text{mm} \times 10^{-2}$, fue obtenida mediante la prueba de la viga Benkelman, se observó que los valores variaron significativamente entre los diferentes tramos evaluados. En el tramo 0+000 km, el valor inicial y el segundo valor de deflexiones fueron de $34 \times 10^{-2} \text{ mm}$ y $24 \times 10^{-2} \text{ mm}$ (considerando el factor de corrección), valores que evidencian una reducción notable de la rigidez estructural del pavimento en ese sector de igual forma, las deflexiones obtenidas fueron $18 \times 10^{-2} \text{ mm}$ y $14 \times 10^{-2} \text{ mm}$, lo que evidenció una adecuada capacidad de recuperación estructural. En el tramo 0+080 km, el valor inicial y el segundo valor de deflexiones fueron de $32 \times 10^{-2} \text{ mm}$ y $26 \times 10^{-2} \text{ mm}$ respectivamente es notorio la disminución significativa de la capacidad estructural del pavimento y las deflexiones $10 \times 10^{-2} \text{ mm}$ y $6 \times 10^{-2} \text{ mm}$ reflejaron un comportamiento uniforme del pavimento. En el tramo

0+160 km, los valores de la deflexión registrados fueron 80×10^{-2} mm, 68×10^{-2} mm, 60×10^{-2} mm y 36×10^{-2} mm, evidenciando un marcado debilitamiento estructural del pavimento en este sector. En el tramo 0+240 y 0+320 los valores obtenidos evidenciaron deflexiones que reflejan un deterioro estructural avanzado en los tramos evaluados.

Estos resultados permitieron identificar sectores con mayor susceptibilidad a presentar deformaciones bajo carga y que, por tanto, debían ser considerados como zonas prioritarias dentro del plan de intervención del pavimento.

Continuando, en base a los datos recopilados se muestran el cálculo de deflexiones:

Tabla 28

Cálculo de matriz de deflexiones

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	DISTANCIA DEL CENTRO DE CARGA			
		A los: 0 cm	A los: 25 cm	A los: 50 cm	A los: 100 cm
(0 + 000)	D	34	24	18	14
(0 + 080)	D	32	26	10	6
(0 + 160)	D	80	68	60	36
0 + 240)	D	80	62	58	52
(0 + 320)	D	60	36	30	24

La tabla 29 muestra el cálculo de corrección por temperatura normada, para ajustar las deflexiones obtenidas. En la progresiva 0+000, con una temperatura superficial de 29 °C y un factor Fc de 0.96, las deflexiones corregidas presentaron valores que disminuyeron de 33×10^{-2} mm a 13×10^{-2} mm conforme aumentaba la distancia respecto al punto de aplicación de la carga. En la progresiva 0+080, con temperatura de 26 °C y Fc de 0.97, las deflexiones corregidas mostraron una disminución similar, desde 31×10^{-2} mm hasta 6×10^{-2} mm.

Para las progresivas 0+160 y 0+240, ambas con temperatura de 25 °C y factor Fc de 0.98, las deflexiones corregidas se mantuvieron en valores elevados, alcanzando 78×10^{-2} mm en las lecturas iniciales, lo que evidenció una pérdida importante de soporte y un deterioro estructural significativo del pavimento en estos sectores. Finalmente, en la

progresiva 0+320, con temperatura de 24 °C y Fc de 0.98, las deflexiones corregidas mostraron un valor inicial de 59×10^{-2} mm y disminuyeron hasta 23×10^{-2} mm, indicando la degradación estructural del pavimento. La aplicación de la corrección por temperatura permitió obtener valores más precisos y comparables de deflexión, ajustados a las condiciones térmicas presentes durante la medición, facilitando una mejor evaluación estructural del pavimento. La siguiente tabla muestra la corrección por temperatura normada:

Tabla 29

Matriz de corrección por temperatura normada

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta (cm)	(Fc)Tem.	DISTANCIA DEL CENTRO DE CARGA			
					A los: 0 cm	A los: 25 cm	A los: 50 cm	A los: 100 cm
(0 + 000)	D	29	(5.0)	0.96	33.00	23.00	17.00	13.00
(0 + 080)	D	26	(5.0)	0.97	31.00	25.00	10.00	6.00
(0 + 160)	D	25	(5.0)	0.98	78.00	66.00	59.00	35.00
0 + 240)	D	25	(5.0)	0.98	78.00	60.00	57.00	51.00
(0 + 320)	D	24	(5.0)	0.98	59.00	35.00	29.00	24.00

La tabla 30 muestra el cálculo de la corrección por estacionalidad normada, se aplicó un factor corrector de estacionalidad (Fc Est. = 1.30) para ajustar las deflexiones medidas en función de las variaciones estacionales que afectan la rigidez y comportamiento del pavimento. En la progresiva 0+000, con una temperatura de carpeta de 29 °C y un espesor de 5.0 cm, las deflexiones corregidas aumentaron respecto a los valores sin corrección, registrando un valor inicial de 42.90×10^{-2} mm y disminuyendo hasta 16.90×10^{-2} mm a 100 cm.

De manera similar, en la progresiva 0+080, las deflexiones corregidas oscilaron entre 40.30×10^{-2} mm y 7.80×10^{-2} mm, mostrando un comportamiento consistente con las condiciones estacionales consideradas. En los tramos 0+160 y 0+240, las deflexiones corregidas alcanzaron valores considerablemente elevados, registrándose lecturas iniciales de 101.40×10^{-2} mm. Estos valores evidenciaron un deterioro estructural marcado

del pavimento durante la estación evaluada. Finalmente, en la progresiva 0+320, las deflexiones corregidas variaron desde 76.70×10^{-2} mm hasta 29.90×10^{-2} mm, indicando un deterioro estructural del pavimento. La aplicación del factor de corrección estacional permitió obtener una interpretación más fiable del comportamiento estructural del pavimento frente a las variaciones climáticas y ambientales, fortaleciendo así la precisión del diagnóstico y contribuyendo a una planificación más adecuada de las intervenciones requeridas.

Tabla 30

Matriz de corrección por estacionalidad normada

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpetas	Espesor de la Carpetas	(Fc)Est.	DISTANCIA DEL CENTRO DE CARGA			
					A los: 0 cm	A los: 25 cm	A los: 50 cm	A los: 100 cm
(0 + 000)	D	29	(5.0) cm	1.30	42.90	29.90	22.10	16.90
(0 + 080)	D	26	(5.0) cm	1.30	40.30	32.50	13.00	7.80
(0 + 160)	D	25	(5.0) cm	1.30	101.40	85.80	76.70	45.50
0 + 240)	D	25	(5.0) cm	1.30	101.4.20	78.00	74.10	66.30
(0 + 320)	D	24	(5.0) cm	1.30	76.70	45.50	37.70	29.30

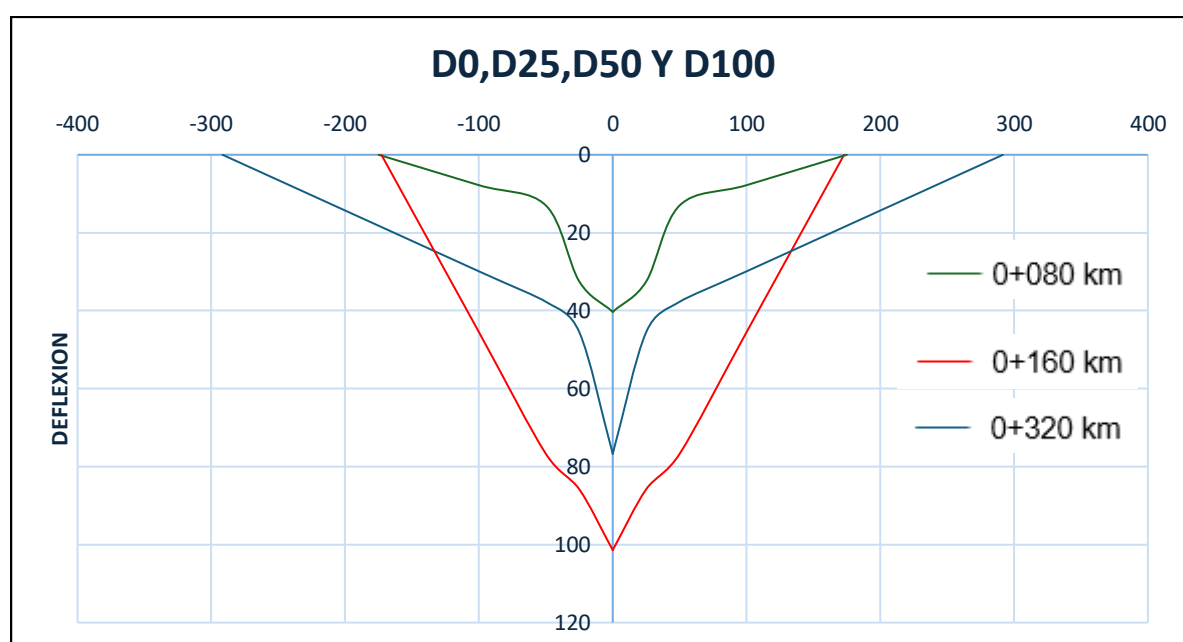
La figura 28 muestra las curvas de deflexión medidas con la viga Benkelman en distintos puntos detrás de la rueda de carga para tres progresivas diferentes. La línea verde correspondiente a la progresiva 0+080, con un pico relativamente estrecho en el punto de carga (0 cm) y una rápida recuperación a medida que la distancia aumenta. Esto indica que el pavimento tiene poco soporte en la losa. La línea roja de la progresiva 0+160 muestra un pico de deflexión mucho más pronunciado y ancho, con valores significativamente mayores en el punto de carga y una recuperación más lenta a medida que la distancia aumenta. Esta curva indica un deterioro estructural importante en este tramo, mal pavimento y mala subrasante con una capacidad de soporte reducida y mayor deformación bajo carga .

La línea azul correspondiente a la progresiva 0+320 presenta un comportamiento intermedio: el pico de deflexión es más alto que el de la progresiva 0+080 pero menor que

el de 0+160. Además, la recuperación de la superficie es gradual, lo que sugiere un estado de deterioro moderado del pavimento en ese tramo. En conjunto, estas curvas reflejan que el estado de deflexión del pavimento varía a lo largo del tramo estudiado, con la progresiva 0+080 mostrando un mal estado del pavimento, la 0+160 con un deterioro severo, y la 0+320 con un desgaste intermedio. Estos resultados son útiles para priorizar intervenciones, asignando rehabilitación estructural en zonas críticas como la progresiva 0+160 y mantenimiento preventivo en áreas como la 0+080.

Figura 28

Curvas representativas de las muestras evaluadas



En base a los resultados encontrados se entiende que el pavimento y la subrasante tienen una magnitud muy alta y condición del pavimento crítica por lo que se tiene un esquema tipo de deflexión IV.

En base a las deflexiones medidas con la viga Benkelman, se determinó que el pavimento presentó variaciones significativas en su desempeño, encontrándose en un estado deteriorado a lo largo del tramo estudiado. La progresiva 0+080 mostró un mal estado del pavimento, mientras que la 0+160 evidenció un deterioro severo y la 0+320 un desgaste moderado. Considerando que tanto el pavimento como la subrasante presentan

una calidad deficiente, se concluyó que es necesario aplicar un nivel de intervención estructural profundo, por lo cual requiere la reconstrucción total del pavimento.

Referido a la discusión, en la investigación presente se plantearon las siguientes variables: evaluación funcional, estructural y nivel de intervención, las cuales ayudan en el estudio la evaluación estructural y funcional de la vía jr. Porvenir del distrito de Huancaray, en ese sentido se emplearon instrumentos ya estandarizados, de manera subsecuente se hizo el análisis, donde los resultados evidenciaron que la condición general del pavimento se clasifica como "malo", con un promedio del PCI de 33.43. Este valor refleja un estado de deterioro moderado en el pavimento a lo largo de la vía.

Referido al objetivo general, la evaluación estructural y funcional del pavimento rígido del jirón Porvenir del distrito de Huancaray arrojó un PCI promedio de 33.43, clasificándose en condición malo, con tramos que variaron desde valores de 25 hasta 38. La mayoría de las progresivas presentó condiciones malas, particularmente entre las progresivas 00+000 a 00+040, 00+120 a 00+160, 00+160 a 00+200, 00+200 a 00+240 y 00+280 a 00+320, lo que evidenció un deterioro significativo que compromete la funcionalidad y seguridad de la vía. Estos resultados se encontraron alineados parcialmente con los hallazgos de Pérez (2022), quien en su estudio identificó un predominio de tramos en condiciones malas o muy malas, con PCI de hasta 16, lo que llevó a recomendar intervenciones de reconstrucción y rehabilitación en gran parte del tramo evaluado. En contraste, aunque en el presente estudio los valores no fueron tan críticos como los obtenidos por Pérez, la proporción de segmentos en estado malo sugiere igualmente la necesidad de intervenciones correctivas de carácter prioritario.

Asimismo, al comparar con lo reportado por Montes de Oca et al. (2021), quienes encontraron PCI promedio de 84 con predominio de condiciones buenas y satisfactorias en rutas nacionales, se evidenció una marcada diferencia atribuible posiblemente a factores como la calidad inicial de la construcción, la periodicidad del mantenimiento y la capacidad de drenaje. Mientras que en las rutas evaluadas por Montes de Oca el deterioro se concentró en fallas puntuales como daño en sello de juntas y pulimiento de agregados, en

el Jirón Porvenir las condiciones malas recurrentes podrían estar asociadas a una combinación de deficiencias en la resistencia estructural del pavimento y al incremento de la carga vehicular no prevista en el diseño original.

De igual forma, los resultados guardan similitud con lo encontrado por Amez (2023), quien en la av. Antonio Raimondi obtuvo un PCI promedio de 38.44, clasificando la vía en estado malo. Dicho autor identificó que las fallas más frecuentes fueron aberturas de esquinas, losa partida, escala, aberturas directas, parche grande, pulimiento de agregado y descascaramiento de juntas, concluyendo que estas deficiencias demandaban rehabilitaciones específicas según el nivel de deterioro. Del mismo modo, en el estudio de Saavedra (2022) en la Av. Llamellin se reportó un PCI promedio de 53.2, que corresponde a condición regular, con fallas recurrentes como grietas en las esquinas, losas divididas y parches grandes. Estos hallazgos coinciden con lo identificado en el jirón Porvenir, donde las fallas de tipo estructural y funcional se presentan con alta frecuencia y comprometen la capacidad de servicio del pavimento.

Desde el enfoque teórico de la Ingeniería de Pavimentos, y considerando los aportes teóricos de Karl Von Terzaghi respecto al comportamiento de los suelos bajo carga, los resultados sugirieron que la capacidad de soporte del terreno y el adecuado diseño estructural son determinantes para la vida útil del pavimento. La baja calificación PCI en varios tramos pudo estar relacionada con la falta de una base o subbase de calidad adecuada o con deficiencias en la evacuación de aguas, lo que aceleró la aparición de fallas estructurales y funcionales. En este contexto, la aplicación sistemática de metodologías estandarizadas como la ASTM D6433 permitió obtener un diagnóstico preciso del estado del pavimento, proporcionando la base técnica para definir el nivel de intervención más adecuado, priorizando acciones de rehabilitación en los tramos con valores PCI inferiores a 40 y mantenimiento correctivo en aquellos con condiciones regulares, con el fin de restituir y prolongar la capacidad de servicio de la vía.

En alusión al primer objetivo específico, En la evaluación de las unidades de tramo del jirón Porvenir, se identificó que las fallas más recurrentes fueron las losas divididas

(presente en el 100% de las unidades), seguidas de grietas lineales, parche grande y pulimiento de agregados, también con presencia en la totalidad de las áreas evaluadas. Asimismo, se detectaron con alta frecuencia las grietas de esquina y el daño del sello de la junta, afectando más del 70% de las muestras. Esta predominancia de fallas estructurales y funcionales evidencia un deterioro significativo del pavimento rígido, donde las grietas y fisuras se asocian principalmente a tensiones que exceden la resistencia del concreto, tal como explica Corral (2004), ya sea por cambios volumétricos, contracciones o expansiones no controladas.

Estos resultados guardan relación con los hallazgos de Amez (2023), quien, aplicando el método PCI en la Av. Antonio Raimondi, también reportó alta incidencia de aberturas de esquinas, losa partida, parches grandes y pulimiento de agregados, obteniendo un PCI medio de 38.44 que clasificó el pavimento como “malo”. Del mismo modo, Saavedra (2022) identificó que las grietas de esquina, las losas divididas y los parches grandes fueron las patologías más frecuentes, con un PCI promedio de 53.2 en condición “regular”. Si bien la magnitud de deterioro varía entre contextos, la recurrencia de estos tipos de falla confirma patrones típicos de pavimentos rígidos sometidos a esfuerzos mecánicos y ambientales prolongados.

En la misma línea, Solís (2021) en la Calle Elías Aguirre obtuvo valores de PCI muy variables, con tramos que oscilaron entre “muy malo” (11.93) y “bueno” (64.53), siendo las fallas más comunes las grietas de esquina y el pulimiento de agregados (60%), seguidas de retracción (45%) y escala (30%). Este autor concluyó que las patologías con mayor severidad fueron precisamente el pulimiento de agregados y las grietas de esquina, evidenciando similitudes con lo observado en el Jirón Porvenir. Por otro lado, Llamccaya (2023), al evaluar fallas superficiales en otro contexto urbano, encontró un predominio de grietas de esquina, losa dividida, grietas lineales y descascaramiento, con valores de PCI entre 58.23 y 65, clasificando la vía como “buena”.

La teoría señala la presencia reiterada de parches grandes y pequeños refleja intervenciones previas de mantenimiento correctivo, que, según Rebolledo (2010), pueden

originar discontinuidades y fisuras de desplazamiento cuando no existe una adecuada adherencia entre capas. Asimismo, el pulimiento de agregados observado es coherente con lo descrito por Shahin (2005), quien asocia este fenómeno a la pérdida progresiva de material fino y ligante, lo que incrementa la exposición al desgaste por tráfico y clima. En conjunto, los hallazgos indican que la vía evaluada presenta un estado de deterioro avanzado, donde coexisten daños de origen estructural y superficial, requiriendo una intervención integral que considere tanto la rehabilitación como la prevención de nuevas fallas.

Referido al segundo objetivo específico, los resultados obtenidos en la evaluación de la severidad de las fallas del pavimento muestran una variabilidad significativa en la magnitud de las patologías a través de las unidades de tramo, lo que refleja tanto el deterioro estructural como las condiciones diferenciales del pavimento, se identificaron daños recurrentes como grietas de esquina, losas divididas, grietas lineales, parches grandes y pulimiento de agregados, presentando en su mayoría niveles de severidad media (M) y baja (L), aunque también se evidenciaron casos puntuales de severidad alta (H), como en el daño por escala y el desnivel carril/berma. Estos resultados evidencian un deterioro progresivo que, si bien no alcanza un estado crítico generalizado, sí refleja la necesidad de intervenciones preventivas para evitar que las fallas evolucionen hacia estados más severos.

En comparación con el estudio de Llamccaya (2023), quien encontró que las fallas más frecuentes fueron grieta de esquina, losa dividida y grietas lineales, con PCI clasificados como “buenos”, se observa una coincidencia en el patrón de deterioro superficial. Sin embargo, a diferencia de ese estudio, en el jirón Porvenir se detectaron casos con severidad alta en defectos como pulimiento de agregados y desnivel carril/berma, lo que podría indicar una mayor exposición a cargas de tráfico pesadas o deficiencias en el mantenimiento rutinario. Por otro lado, en contraste con Acuña (2018), quien reportó PCI clasificados en su mayoría como “muy malos” y “regulares”, los hallazgos

de este estudio sugieren que el estado del pavimento del jirón Porvenir es menos crítico, aunque con focos de atención que requieren medidas correctivas.

Desde el punto de vista técnico, la alta recurrencia de grietas y fisuras se alinea con lo expuesto por Corral (2004), quien señala que este tipo de fallas se originan por tensiones que superan la resistencia del concreto, provocadas por expansiones y contracciones volumétricas o por la oxidación del acero de refuerzo. Asimismo, el daño en el sello de juntas y los desniveles carril/berma pueden asociarse a lo descrito por Rebolledo (2010), en cuanto a la pérdida de adherencia entre capas por compactación deficiente o falta de riego de liga. Finalmente, la presencia de pulimiento de agregados concuerda con lo indicado por Shahin (2005), como consecuencia del desgaste progresivo debido al tráfico y la exposición ambiental.

De manera complementaria, Amez (2023), en su investigación en la Av. Antonio Raimondi, identificó patologías frecuentes como aberturas de esquinas, losa partida, escala, parches grandes, pulimiento de agregados y descascaramiento de juntas, con predominio de severidades medias y bajas, pero también con casos puntuales de alta severidad como en el daño por escala. Su estudio arrojó un PCI medio de 38.44, correspondiente a condición “mala”, lo que refuerza la coincidencia en cuanto a la tipología de fallas con lo hallado en el jirón Porvenir. Asimismo, Saavedra (2022), en la Av. Llamellin, encontró como defectos más frecuentes las grietas de esquina (16.18%), las losas divididas (15.03%) y los parches grandes (14.45%), alcanzando un PCI promedio de 53.2 en condición “regular”. Esta convergencia de resultados confirma que las fallas estructurales más representativas de los pavimentos rígidos corresponden a grietas y losas partidas, cuya severidad puede variar según factores constructivos, condiciones climáticas y cargas vehiculares.

En conjunto, los resultados confirman que, aunque el pavimento mantiene un estado operativo aceptable en la mayoría de sus tramos, presenta un abanico de fallas con severidad variada que, de no ser tratadas oportunamente, podrían comprometer significativamente su vida útil y funcionalidad.

Referente al tercer objetivo específico, Los resultados obtenidos mediante la medición de deflexiones con la viga Benkelman evidencian variaciones significativas del estado del pavimento a lo largo del jirón Porvenir. La progresiva 0+080 mostró la menor deflexión y una rápida recuperación, lo que indica una adecuada respuesta elástica y un buen estado estructural. En contraste, la progresiva 0+160 presentó un pico de deflexión amplio y elevado, con una lenta recuperación, señalando un deterioro severo y una reducción de la capacidad de soporte. La progresiva 0+320 se ubicó en un estado intermedio, con deflexiones moderadas y recuperación gradual. Este comportamiento heterogéneo confirma que la vía presenta zonas críticas que requieren rehabilitación estructural y otras que solo precisan mantenimiento preventivo.

Estos hallazgos son coherentes con lo reportado por Jain et al. (2023), quienes destacan que la medición de deflexiones permite identificar con precisión las áreas de mayor deterioro antes de la ejecución de trabajos de restauración. En este caso, la alta deflexión de la progresiva 0+160 confirma la baja calidad tanto del pavimento como de la subrasante, clasificándola dentro de un esquema tipo IV, donde ambos elementos se encuentran en mal estado. Asimismo, la correspondencia de las tendencias observadas con las encontradas por Ranjan et al. (2023) refuerza la fiabilidad de la viga Benkelman como herramienta diagnóstica, ya que, a pesar de que otros métodos como el Falling Weight Deflectometer (FWD) pueden arrojar valores levemente distintos, la tendencia estructural detectada es consistente.

De manera complementaria, Prabhu et al. (2021) evaluaron pavimentos flexibles y concluyeron que el deterioro estructural está estrechamente relacionado con el incremento del tráfico pesado, reportando deflexiones promedio de 1,25 mm asociadas a un tránsito de 5,2 millones de ESAL. Su estudio confirma la necesidad de realizar evaluaciones periódicas de deflexión y diseñar sobrecubiertas de refuerzo en función de la carga real de tránsito, lo cual se asemeja a lo evidenciado en el jirón Porvenir, donde las altas deflexiones reflejan un sobreesfuerzo estructural vinculado a cargas no previstas en el diseño original. Por otro lado, Quinto et al. (2023), al evaluar la pista de aterrizaje del Aeropuerto "Alfárez

FAP David Figueroa Fernandini”, reportaron un PCI promedio de 62 en condición “buena”, aunque con fallas localizadas de severidad baja como piel de cocodrilo y fisuras longitudinales y transversales. Si bien este estudio se centró en la evaluación superficial y no estructural, resalta cómo el envejecimiento de la infraestructura y la ausencia de mantenimientos integrales aceleran el deterioro, situación que también explica parte de las deficiencias observadas en el jirón Porvenir.

Desde la perspectiva de la Teoría de la Ingeniería de Pavimentos, estos resultados se alinean con el principio fundamental de que la capacidad de soporte está directamente vinculada a las propiedades mecánicas de las capas del pavimento y la subrasante (Cárdenas, 2021). Siguiendo los aportes de Karl Von Terzaghi, la mayor deflexión registrada en la progresiva 0+160 sugiere una disminución de la rigidez del sistema suelo-pavimento ante la carga aplicada, lo que podría atribuirse a factores como pérdida de compactación, humedad excesiva o fatiga de materiales. En consecuencia, la priorización de intervenciones debe basarse en este diagnóstico, evitando inversiones innecesarias en tramos que aún presentan buen desempeño estructural y concentrando recursos en sectores críticos para prolongar la vida útil de la vía y optimizar la gestión del mantenimiento.

VI. Conclusiones

Primero: Se llevó a cabo la evaluación estructural y funcional del pavimento rígido del jirón Porvenir del distrito de Huancaray, arrojó un PCI promedio de 33.43, clasificado como malo, reflejando deterioro significativo. El análisis detallado identificó tramos en condición mala y muy mala, mientras que las evaluaciones estructurales registraron deformaciones que superan los límites admisibles establecidos por la normativa vigente. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de ejecutar intervenciones en el tramo, con el fin de restablecer la funcionalidad, seguridad y nivel de servicio del pavimento.

Segundo: Se determinó las fallas en el pavimento del jirón Porvenir mediante el Índice de Condición del Pavimento identificó como fallas predominantes losas divididas, grietas lineales, parches grandes y pulimientos de agregados, presentes en la mayoría de las unidades de tramo. Otras fallas, como popouts, bombeo, punzonamiento y craquelado, no fueron detectadas. Estos resultados evidencian un deterioro concentrado en la superficie y en la estructura de las losas, lo que justifica la implementación de medidas de mantenimiento correctivo y preventivo priorizadas según la severidad y frecuencia de las fallas.

Tercero: Se determinó la severidad del pavimento del jirón Porvenir reveló que las fallas más frecuentes losas divididas, grietas lineales, parches grandes y pulimientos de agregados presentan grados de deterioro de leve a alta, predominando los niveles moderado y alto. Fallas como desnivel de carril/berma y descascaramiento de juntas alcanzaron severidad alta, mientras que popouts, bombeo y punzonamiento no se registraron. Estos hallazgos evidencian zonas críticas con deterioro significativo, que requieren intervenciones focalizadas para preservar la funcionalidad y seguridad del pavimento.

Cuarto: La medición de deflexiones con la Viga Benkelman indicó que el estado del pavimento del jirón Porvenir varía por tramo: 0+080 se encuentra en deteriorado,

0+160 presenta deterioro severo y 0+320 muestra desgaste moderado. El pavimento y la subrasante presentan condiciones estructurales deficientes (deflexión tipo IV), lo que requiere la reconstrucción total en todo el tramo.

VII. Recomendación

- Primero:** Priorizar intervenciones diferenciadas según el estado de cada tramo del pavimento, si el daño está en superficie (fisuras, baches, desgaste) intervención en losas, si las deflexiones muestran falla estructural profunda realizar una intervención en base y subrasante. Asimismo, es necesario implementar un programa de inspección periódica que permita detectar oportunamente la evolución del deterioro y ajustar las acciones de mantenimiento.
- Segundo:** Realizar mantenimiento correctivo focalizado en los tramos donde se identificaron losas divididas, grietas lineales, parches grandes y pulimientos de agregados. Paralelamente, se sugiere aplicar mantenimiento preventivo en las áreas con menor deterioro para retrasar la aparición de nuevas fallas. Finalmente, es importante establecer un registro actualizado de fallas que permita priorizar los recursos disponibles de acuerdo con la severidad y frecuencia de cada tipo de daño.
- Tercero:** Desde el punto de vista académico, se recomienda realizar investigaciones relacionadas evaluando la parte estructural y funcional del pavimento, asimismo los resultados obtenidos en este estudio constituyen un insumo valioso para futuras investigaciones, ya que permitirán contrastar, profundizar y optimizar estrategias de intervención y mantenimiento en infraestructuras viales similares.
- Cuarto:** Desde el enfoque práctico, se recomienda una evaluación detallada de los defectos y el estado deterioro del pavimento, con la asistencia de los especialistas en pavimento. La prioridad debe ser la intervención integral en el jr. Porvenir en las zonas críticas requiere la reconstrucción completa. De igual modo, se sugiere evaluar tramos en buen o moderado estado para aplicar mantenimiento preventivo y correctivo del pavimento. Asimismo, resulta conveniente sistematizar los registros y emplear tecnologías complementarias que optimicen recursos y decisiones futuras.

VIII. Referencias

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Amez, L. (2023). *Evaluación de patologías en pavimento rígido aplicando Paviment Condition Index de la Av. Antonio Raimondi—Huaraz – 2022*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110553>
- Arias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206.
<https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>
- ASTM International. (2020). *ASTM D6433-20: Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. ASTM International.
https://doi.org/10.1520/D6433_D6433M-20
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación* (3ra ed.). Patria.
- Bustamante, O. (1996). *Estructuración de vías terrestres*. Compañía Editorial Continental.
- Cárdenas, N. (2021). *Análisis inicial de la evaluación paramétrica de un modelo constitutivo para su uso en respuesta de sitio*. <https://repository.ucc.edu.co/items/2cb540e4-744c-408c-9b1e-c44dc89dfa2a>
- Corral, J. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. *Ciencia y sociedad*, 29(1), 72-114.
<https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Corral, Y., Corral, I., & Franco, A. (2015). Procedimientos de muestreo. *Revista ciencias de la educación*, 46, 151-167.
- Departamento Nacional de Planeación. (2021). *Construcción de pavimento rígido en vías urbanas*. Departamento Nacional de Planeación de Colombia.
<https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>

- Elshamy, M., Tiraturyan, A., Uglova, E., & Elgendy, M. (2022). Evaluation of Pavement Condition Deterioration Using Artificial Intelligence Models. *Advanced Engineering Research*, 22(3), 272–284. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-3-272-284>
- Flores, A., Romero, A., & Rojas, J. (2023). Conservación del pavimento flexible mediante el método PCI. *Salud, Ciencia y Tecnología*. <https://doi.org/10.56294/sctconf2023397>
- Gandía, J. (2022). *Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: Aplicación al barrio En Corts de la ciudad de Valencia*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/190526>
- Hall, K., Correa, C., Carpenter, S., & Elliot, R. (2001). Rehabilitation strategies for highway pavements. *National Cooperative Highway Research Program*, 35.
- Handayani, F. S., Setyawan, A., Pramesti, F. P., & Widhiarti, N. (2023). Remaining service life prediction using road structure performance data with pavement condition index (PCI) and Benkelman beam (BB) methods. *E3S Web of Conferences*, 429, 05021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342905021>
- Hernández, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-21252021000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill.
- Hoffman, M., & Del Águila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)*. Lima Librotext.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Jain, R., Alheety, M., Sharma, J., & Saxena, A. (2023). Assessment Performance of Flexible Pavements for Surface Deflection Measure by Benkelman Beam Method. *Macromolecular Symposia*, 407(1). <https://doi.org/10.1002/masy.202200125>

- Jiménez, R. (2002). *Brecha de infraestructura vial en el Perú: El septuagenario caso de la carretera Huarmey-Aija-Recuay*. <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/118729>
- Johnson, A. (2000). *Best Practices Handbook on Asphalt Pavement Maintenance*. Minnesota Technology Transfer/LTAP Program, Center for Transportation Studies. <https://hdl.handle.net/11299/199769>
- Llamccaya, E. (2023). *Variabilidad de resultados en la evaluación de las fallas superficiales del pavimento rígido para la mejora del tránsito vial en la Urb. Los Chancas, Abancay—Apurímac—2023*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/126535>
- López, P. (2004). *Población, muestra y muestreo*. Punto Cero, 09(08), 69-74.
- Mallqui, J., & Quinto, C. (2023). Evaluación superficial del pavimento asfáltico apoyada por el método PCI en pistas de aterrizaje de aeropuertos. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 27(118), 87-98. <https://doi.org/10.47460/uct.v27i118.690>
- Meza, H. (2017). *Evaluación deflectométrica obtenida con la viga benkelman y diseño de estructuras de pavimentos por el método AASHTO 2008 en la Avenida Hartley del Distrito de José Luis Bustamante y Rivero—Arequipa*. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/6683>
- Miller, J. S., & Bellinger, W. Y. (2014). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program* (5th ed.). Federal Highway Administration (FHWA).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2018). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (1982). *Estudio de rehabilitación de carreteras en el País, Aspectos de evaluación de pavimentos, CONREVIAl*.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (2.^a ed.). Universidad Católica de Colombia.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (2.^a ed.). Universidad Católica de Colombia.

- Montes de Oca, M., Sequeira, W., Ávila, T., & Aguiar, J. (2021). Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos en Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 23(42), 53-60. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i42.46947>
- MTC. (2023). Decreto Supremo que aprueba la Política Nacional Multisectorial de Seguridad Vial 2023—2030—Decreto supremo—N° 009—2023—MTC. <http://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2190371-3>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa—Cualitativa y redacción de la tesis* (4.ª ed.). Ediciones de la U.
- Obregon, B. (2018). *Evaluación de la condición operacional del pavimento rígido, mediante el método de índice de condición del pavimento (PCI), en las pistas del Jr. Ramón Castilla y el Jr. Juan Antonio Trelles del distrito de Andahuaylas, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac—2018* [Tesis de titulación, Universidad Alas Peruanas]. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/8753>
- Ortiz, B., & Tocto, E. (2019). *Diseño de infraestructura vial con pavimento rígido para transitabilidad del barrio Señor de los Milagros, distrito Canoas de Punta Sal, provincia Contralmirante Villar de la región de Tumbes—2018*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36551>
- Peña, E., & Díaz, J. (2020). Análisis de la relación entre el estado de conservación del pavimento, el consumo de combustible y las emisiones de los vehículos. *Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, 231, 17-27.
- Perez, A., Garnica, P., Gomez, J., & Martinez, G. (2004). Uso y calibración de deflectómetros de impacto en la evaluación estructural de pavimentos. *Publicación Técnica*, 252. <https://trid.trb.org/View/1100423>
- Pérez, D. (2022). *Diagnóstico de pavimentos mediante el método PCI y análisis de la influencia del mal estado de la vía con relación al número de accidentes presentados en la Av. La victoria (carrera 4 este) entre calle 37 sur y calle 27a sur*.

<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/20059f71-2f5a-4221-9331-f7f9173ca799>

Prabhu, A., Arpith, S., Vahida, K., Kumar, D., Bhat, A., & Kumar, A. (2021). *Overlay Design of Flexible Pavements Using Benkelman Beam Deflection Method—A Case Study*. Springer.

Ramírez, D., & Valenzuela, L. (2023). Plan de mantenimiento periódico del pavimento en el tramo Paradero Las Retamas—Puente Los Ángeles. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1-13.

Ranjan, S., Mani, U., & Kumar, S. (2023). A Review and Comparison of FWD and Benkelman Beam in Evaluation of Pavement Structure Capacity. *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*, 44(3), 3528-3533.
<https://doi.org/10.52783/tjjpt.v44.i3.2063>

Rebolledo, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. [Tesis de titulación, Universidad Austral de Chile].
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>

Reyes, F. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. Universidad Javeriana.
<https://doi.org/958-683-622-3>

Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Ecoe Ediciones.

Rondón, H., & Reyes, F. (2023). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño* (2da ed.). Ecoe Ediciones.

Saavedra, K. (2022). *Estado de conservación a través del método PCI para determinar las fallas estructurales de la Av. Llamellin, Ancash 2021*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/100465>

Shahin, M. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots* (2nd ed.). Springer

- Solis, W. (2021). *Evaluación superficial y patologías del pavimento rígido de la calle Elías Aguirre, distrito de Jayanca, departamento Lambayeque—2021*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74595>
- Triviño, R., & Moll, R. (2022). Evaluación deflectométrica en pavimentos flexibles mediante la viga benkelman para las condiciones de Manabí. *Dominio de las Ciencias*, 8(Extra 3), 203-224.
- Useche, M., Artigas, W., Queipo, B., & Perozo, E. (2020). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos*.
https://www.researchgate.net/publication/344256464_Tecnicas_e_instrumentos_de_recoleccion_de_datos_Cuali-Cuantitativos
- Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos de concreto en carretera*. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>
- Vergara, A. (2015). *Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay—Ingeniero del Km 0+000 al Km 1+000 2014*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<https://repositorio.uncp.edu.pe/items/32974097-a597-4b9c-8b6b-dbb79daeea02>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes